



**Ministério da Educação**  
**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO PAULO**  
**CAMPUS DIADEMA**  
**Instituto de Ciências Ambientais, Químicas e Farmacêuticas**  
Curso de Ciências



ANDRÉA MANTOAN RAMANOSKI

## **Proposta de sequência didática de atividades experimentais para o ensino de óptica**

DIADEMA

2021

ANDRÉA MANTOAN RAMANOSKI

**Proposta de sequência didática de atividades experimentais para o ensino de óptica**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como exigência parcial para obtenção do título de Licenciatura em Ciências, ao Instituto de Ciências Ambientais, Químicas e Farmacêuticas da Universidade Federal de São Paulo – Campus Diadema.

Orientadora: Prof<sup>ª</sup>. Dra. Roseli Künzel

DIADEMA

2021

**Dados Internacionais da Catalogação na Publicação (CIP)**

Ramanoski, Andréa Mantoan

Proposta de sequência didática de atividades experimentais para o ensino de óptica / Andréa Mantoan Ramanoski. -- Diadema, 2021. 73 f.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências) - Universidade Federal de São Paulo - Campus Diadema, 2021.

Orientadora: Roseli Künzel

1. Sequência didática. 2. Experimentação. 3. Ensino de física. 4. Óptica. 5. Simulador. I. Título.

ANDRÉA MANTOAN RAMANOSKI

**Proposta de sequência didática de atividades experimentais para o ensino de óptica**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como exigência parcial para obtenção do título de Licenciatura em Ciências, ao Instituto de Ciências Ambientais, Químicas e Farmacêuticas da Universidade Federal de São Paulo – Campus Diadema.

Aprovado em: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_.

BANCA EXAMINADORA

---

Prof<sup>ª</sup>. Dra. Roseli Künzel  
Universidade Federal de São Paulo – Unifesp

---

Prof. Dr. Ronaldo Savarino Levenhagen  
Universidade Federal de São Paulo – Unifesp

---

Prof. Dr. Leonardo Sioufi F. dos Santos  
Universidade Federal de São Paulo – Unifesp

## **AGRADECIMENTOS**

Minha jornada tem sido tão longa que não teria espaço e nem memória para tantos agradecimentos, por esse motivo já me desculpo caso alguém se sinta excluído.

Agradeço a todos os colegas da universidade, que de uma forma ou de outra participaram da minha jornada.

Agradeço aos meus Professores, que me fizeram compreender o quão linda é essa profissão que agora abraço.

Agradeço ao meu marido Marcelo, por enfrentar essa minha empreitada com amor e paciência.

Agradeço à minha sobrinha Gaby (minha fotógrafa mirim) e ao meu sobrinho Thiago por me ajudarem com as figuras desse trabalho.

Agradeço à minha irmã Fernanda, por me dar suporte enquanto eu passava horas escrevendo (obrigada pelas comidinhas deliciosas).

Agradeço à minha orientadora, por toda a dedicação e paciência comigo, principalmente durante meus desesperos.

Obrigada, obrigada, obrigada!!!

*“Fiat lux; et lux facta est”*

*Genesis 1:3*

## RESUMO

Este trabalho propõe um conjunto de sequências didáticas que permitem abordar os conceitos de óptica no ensino médio, de uma forma atraente e motivadora. Uma notícia veiculada em uma mídia digital sobre fibras ópticas é empregada como disparador do tema, com a finalidade de despertar a curiosidade e o interesse dos alunos, além de fornecer ao professor elementos que abordam os conceitos de óptica a partir de situações relevantes para os estudantes, em especial aqueles que se utilizam da internet.

Esta sequência foi desenvolvida com o auxílio de atividades experimentais, realizadas com material de baixo custo, e simulações computacionais interativas, utilizando objetos de aprendizagem disponíveis em repositórios online. Os experimentos e as demonstrações utilizados permitem investigar e estudar os temas de reflexão, refração, difração e interferência da luz. Os objetos de aprendizagem empregados no simulador interativo permitem ao professor desenvolver os conceitos básicos relacionados à Lei de Snell, além de apresentar noções de difração e interferência de ondas. Para facilitar a aprendizagem e a fixação dos conceitos abordados, utiliza-se a estratégia de desenvolver um mapa conceitual, pretendendo com isso levar os alunos a uma maior apropriação de cada conceito investigado neste conjunto de sequências didáticas.

**Palavras-chave:** sequência didática, experimentação, ensino de física, óptica, simulador.

## ABSTRACT

This work proposes a set of didactic sequences that allow us to approach the concepts of optics in High School, in an attractive and motivating way. A news item published in digital media about optical fibers is used as a trigger for the theme, to arouse the curiosity and interest of students, in addition to providing the teacher with elements that address the concepts of optics from relevant situations for students, especially those who use the internet.

This sequence was developed with the aid of experimental activities, carried out with low-cost material, and interactive computer simulations, using learning objects available in online repositories. The experiments and demonstrations used make it possible to investigate and study the themes of reflection, refraction, diffraction and light interference. The learning objects used in the interactive simulator allow the teacher to develop the basic concepts related to Snell's Law, in addition to presenting notions of diffraction and wave interference. In order to facilitate the learning and fixation of the concepts covered, the strategy of developing a conceptual map is used, aiming to take students to a greater appropriation of each concept investigated in this set of didactic sequences.

**Keywords:** didactic sequence, experimentation, teaching physics, optics, simulator.



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Exemplificando o experimento de Galileu .....	18
Figura 2 – Experimento de Fizeau .....	19
Figura 3 – Luz branca (policromática) atravessando um prisma.....	21
Figura 4 – Luz monocromática atravessando dois prismas sucessivamente .....	22
Figura 5 – Dioptro plano .....	22
Figura 6 – Dioptro curvo.....	22
Figura 7 – Frente de onda esférica.....	24
Figura 8 – Frente planar .....	24
Figura 9 – Ilustração de uma ponteira laser .....	25
Figura 10 – Pincel convergente .....	25
Figura 11 – Ilustração de um pincel divergente .....	25
Figura 12 – Refração e reflexão.....	27
Figura 13 – Ilustração do processo de reflexão especular.....	27
Figura 14 – Ilustração do processo de reflexão difusa.....	27
Figura 15 – Ilustração dos ângulos de incidência e de reflexão da luz na interface entre dois meios .....	28
Figura 16 – Ilustração dos raios de luz incidente, refratado e refletido entre dois meios .....	29
Figura 17 – Ilustração do processo de reflexão total da luz .....	29
Figura 18 – Ilustração do fenômeno da difração por fenda única .....	30
Figuras 19 – Ilustração do processo de interferência observado em um experimento de fenda dupla .....	31
Figura 20 – Lápis mergulhado na água .....	40

Figura 21 – Laser incidido de baixo para cima (A) e (B) em um copo de água que contém água e óleo. Nas Figuras (C) e (D) o laser está incidido de cima para baixo .....	42
Figuras 22 e 23 – Laser incidido de baixo para cima .....	43
Figuras 24 – Laser incidido de cima para baixo .....	43
Figuras 25 – Laser incidido de baixo para cima no sistema água e glicerina .....	44
Figuras 26 – Laser incidido de cima para baixo .....	44
Figuras 27 – Simulação para incidência de luz em $30^\circ$ ar/água .....	52
Figura 28 – Simulação para incidência de luz em $45^\circ$ ar/água .....	52
Figura 29 – Simulação para incidência de luz em $60^\circ$ ar/água .....	53
Figura 30 – Simulação para incidência de luz em $30^\circ$ ar/vidro.....	53
Figura 31 – Simulação para incidência de luz em $45^\circ$ ar/vidro.....	54
Figura 32 – Simulação para incidência de luz em $60^\circ$ ar/vidro.....	54
Figura 33 – Simulação de um arco-íris .....	55
Figura 34 – Simulação de um arco-íris invertido .....	55
Figura 35 – Exemplo de simulação.....	57
Figura 36 – Gráfico dos valores incidentes X refratado .....	58
Figura 37 – Exemplo da simulação.....	59
Figura 38 – Gráfico de comprimento de onda X índice de refração do vidro.....	60
Figura 39 – Gráfico de comprimento de onda X índice de refração da água.....	61
Figuras 40, 41 e 42 – Fotos da ponteira laser e cartolina utilizadas neste trabalho.....	67
Figuras 43, 44 e 45 – Luz do laser passando pelo furo na cartolina .....	67
Figura 46 – Exemplo de mapa conceitual sobre os conceitos abordados em óptica .....	70

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 – Alguns exemplos de índice de refração .....	23
Tabela 2 – Ângulos de reflexão e refração para os meios ar/água .....	53
Tabela 3 – Ângulos de reflexão e refração para os meios ar/vidro .....	54
Tabela 4 – Exemplo de valores obtidos na simulação .....	58
Tabela 5 – Exemplo de valores obtidos na simulação .....	60

## **LISTA DE SIGLAS**

PCN	Parâmetros Curriculares Nacionais
OA	Objeto de aprendizagem
NC	Notícias Científicas
PhET	Physics Education Technology

## LISTA DE SÍMBOLOS

$n$	Índice de refração
$c$	Velocidade da luz
$v$	Velocidade
$\lambda$	Comprimento de onda
$f$	Frequência da luz
bar	Unidade de pressão
$\lambda_0$	Comprimento de onda no Vácuo
$E$	Energia do fóton
$h$	Constante de Planck
J	Joule
s	Segundo
$\theta$	Teta (para representar ângulo)
$\theta_i$	Ângulo de incidência
$\theta_r$	Ângulo de refração
sen	Seno
nm	Nanômetro
$\theta_c$	Ângulo crítico

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO .....	10
1.1 Experimentação no ensino de Física .....	11
1.2 O ensino de óptica no ensino médio.....	13
2 OBJETIVOS .....	15
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	16
3.1 Natureza da luz.....	16
3.2 Óptica geométrica .....	19
3.2.1 Termos utilizados em óptica .....	20
3.2.2 Em relação à propagação da luz .....	20
3.2.3 Índice de refração .....	22
3.2.4 Propagação da luz.....	23
3.2.5 Reflexão e refração .....	26
3.2.6 Óptica Física.....	30
3.2.7 Difração.....	30
3.2.8 Interferência de ondas .....	30
3.3 Teorias de aprendizagem .....	32
4 METODOLOGIA .....	33
5 PROPOSTAS DE ATIVIDADES DIDÁTICAS.....	34
5.1 Atividade 1 - Notícia jornalística sobre ciência .....	34
5.1.1 Proposta para o aprendizado .....	37
5.1.2 Questões.....	37
5.2 Atividade 2 – Lápis na água .....	39
5.2.1 Descrição do objeto de aprendizagem .....	39
5.2.2 Conceito envolvido .....	40
5.2.3 Proposta para o aprendizado .....	40

5.2.4 Questões.....	40
5.3 Atividade 3 – Investigando a luz em meios diferentes.....	41
5.3.1 Descrição do objeto de aprendizagem .....	42
5.3.2 Conceitos envolvidos.....	44
5.3.3 Proposta para o aprendizado .....	45
5.3.4 Questões.....	45
5.4 Atividade 4 – Simulador PhET – Óptica geométrica .....	50
5.4.1 Descrição do objeto de aprendizagem .....	50
5.4.2 Conceitos envolvidos.....	51
5.4.3 Proposta para o aprendizado .....	51
5.4.4 Questões.....	63
5.5 Atividade 5 – Difração e interferência .....	66
5.5.1 Descrição do objeto de aprendizagem .....	66
5.5.2 Conceitos envolvidos.....	67
5.5.3 Proposta para o aprendizado .....	68
5.5.4 Questões.....	68
5.6 Atividade 6 – Mapa conceitual .....	69
5.6.1 Proposta para o aprendizado .....	69
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	70
7 REFERÊNCIAS.....	71

# 1 INTRODUÇÃO

Os estudantes do ensino médio frequentemente apresentam dificuldades em disciplinas da área de ciências exatas, sobretudo em conceitos relacionados à Física. Entre os componentes desse cenário está o fato de uma significativa parcela dos alunos considerarem os conteúdos de Física como monótonos e pouco estimuladores (RICARDO; FREIRE, 2007, apud ROCHA; DICKMAN, 2016, p.73). Para despertar o interesse e estimular a participação dos alunos nas aulas, é importante que o professor utilize metodologias de ensino diversificadas para a transmissão dos conhecimentos, lançando mão de aulas e atividades que contextualizem os conceitos e buscando relacioná-los com o cotidiano dos alunos. A utilização de demonstrações e experimentos constitui um recurso didático que desperta curiosidade, ao mesmo tempo que permite maior percepção dos conteúdos trabalhados pelos professores.

A Física é uma ciência experimental cujas leis e conceitos correspondem a uma leitura ou interpretação de diversos fenômenos que ocorrem na natureza e, portanto, o seu estudo deve ser prazeroso e de fácil entendimento. Entretanto, muitas vezes encontram-se, no ambiente escolar, diversos estudantes com grande dificuldade de compreensão dos conceitos relacionados aos conteúdos de Física. Além disso, é frequente observar que o ensino de Física nos ensinos fundamental e médio é essencialmente baseado na aplicação de fórmulas matemáticas, com pouco enfoque nos conceitos ou na relação com o cotidiano dos alunos. O ensino de Física é voltado para o acúmulo de informações e o desenvolvimento de habilidades estritamente operacionais, em que, muitas vezes, como o formalismo matemático (como gráficos, diagramas e tabelas) e outros modelos simbólicos, carecem de contextualização (CARVALHO, 2010, p.57). Tais abordagens pouco contextualizadas, muitas vezes, são consequência da falta de formação específica dos professores que atuam no ensino de Física, da escassez de literatura acessível, com propostas pedagógicas que focam em atividades experimentais com materiais de baixo custo e até da falta de laboratórios nas escolas, pois

...várias das escolas dispõem de alguns equipamentos e laboratórios que, no entanto, por várias razões, nunca são utilizados, dentre as quais cabe mencionar o fato de não existirem atividades já preparadas para o uso do professor; falta de recursos para compra de componentes e materiais de reposição; falta de tempo do professor para



planejar a realização de atividades como parte do seu programa de ensino; laboratório fechado e sem manutenção (BORGES, 2002, p. 294).

Neste trabalho apresentamos algumas propostas de sequências didáticas baseadas em atividades de simulação computacionais para o ensino de óptica. Os roteiros de ensino e aprendizagem foram elaborados articulando os conceitos envolvidos com atividades experimentais ou simulações computacionais, para correlacionar os conhecimentos prévios dos estudantes de forma a aproximar o saber formal daquele utilizado no cotidiano.

Conforme mencionado, a Física no ensino médio normalmente é ensinada de forma expositiva e com memorização de fórmulas para resolução de exercícios, baseada no acúmulo de informações e no desenvolvimento de habilidades operacionais. Nesta sequência didática, buscamos estimular os alunos a construir argumentos que auxiliam no entendimento dos fenômenos observados nos experimentos ou demonstrações, para fundamentar e relacionar o conhecimento escolar com o cotidiano.

### **1.1 Experimentação no ensino de Física**

De acordo com os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN) “...para a organização do ensino de Física no ensino médio, é indispensável traduzi-lo em termos de competências e habilidades, superando a prática tradicional”. O documento enfatiza que

O ensino de Física tem-se realizado freqüentemente mediante a apresentação de conceitos, leis e fórmulas, de forma desarticulada, distanciados do mundo vivido pelos alunos e professores e não só, mas também por isso, vazios de significado. Privilegia a teoria e a abstração, desde o primeiro momento, em detrimento de um desenvolvimento gradual da abstração que, pelo menos, parta da prática e de exemplos concretos, enfatiza a utilização de fórmulas, em situações artificiais, desvinculando a linguagem matemática que essas fórmulas representam de seu significado físico efetivo. Insiste na solução de exercícios repetitivos, pretendendo que o aprendizado ocorra pela automatização ou memorização e não pela construção do conhecimento através das competências adquiridas (BRASIL, 2000, p. 22)

A experimentação no ensino de Física se constitui em um recurso valioso, e ainda que não seja a solução definitiva, pode proporcionar ao aluno o desenvolvimento de competências e habilidades tais como: relacionar os conceitos físicos com o cotidiano e o meio cultural que esse aluno está inserido, desenvolver a capacidade de investigação, saber interpretar dados

empíricos e relacioná-los com os conceitos físicos, ser capaz de traduzir os dados obtidos para linguagem matemática (gráficos e/ou tabelas), entre outras (BORGES, 2002, p. 294).

Além disso, de acordo com o PCN, as habilidades e competências a serem desenvolvidas no ensino de Física são: representação e comunicação, investigação e compreensão e contextualização sócio-cultural (BRASIL, 2000, p. 29).

Pelo fato do ensino de Física ser tradicionalmente pautado no acúmulo de informações e em habilidades operacionais, o aluno pode encontrar dificuldades em relacionar os conceitos físicos com seu cotidiano. A adoção dessa metodologia pode potencializar as dificuldades para a compreensão dos conceitos envolvidos e impor obstáculos para o entendimento de fenômenos que acontecem ao seu redor, o que pode desestimular o aluno.

Segundo Freire (1997, apud BATISTA; FUSINATO; BLINI, 2009, p.44), para compreender a teoria é preciso experienciá-la, portanto é ferramenta para que o aluno estabeleça a dinâmica e a indissociável relação entre teoria e prática a realização de experimentos em Física. A importância da experimentação no processo de aprendizagem também é discutida por Bazin (1987, apud BATISTA; FUSINATO; BLINI, 2009, p.44) que, em uma experiência de ensino não-formal de ciências, aposta na maior significância desta metodologia do que na simples memorização da informação, método tradicionalmente empregado nas salas de aula.

A utilização da experimentação no ensino de Física pode contribuir para tornar a aula prazerosa e estimular o espírito científico, instigando o aluno a novas descobertas, percebendo o mundo que o cerca.

Para Carvalho (2010, p.73), “apesar de todos os professores estarem cientes da importância das atividades experimentais no ensino de Física para todos os níveis de ensino, não é difícil encontrar alunos que nunca entraram em um laboratório didático”.

Podemos imaginar vários motivos que podem dificultar ou até inviabilizar as experimentações no ensino de Física, entre eles: falta de laboratório didático na escola; falta de técnicos para auxiliar o professor; o espaço físico do laboratório não comportar o número de alunos de uma turma; concorrência pelo espaço físico do laboratório; inexperiência do professor em laboratório; falta de equipamentos adequados às aulas ou mesmo falta de equipamentos de segurança, entre outros. Carvalho (2010) discute os dois problemas encontrados frequentemente, o tempo e o material experimental.

As atividades experimentais consomem um tempo considerável, já muito limitado nos currículos atuais, principalmente na rede pública, quando o professor conta com duas ou três aulas semanais (CARVALHO, 2010). Pensando nesta falta de tempo é necessário que o

professor defina quais experimentos serão mais efetivos e proveitosos, podendo lançar mão de demonstrações que muitas vezes são mais rápidas e bastante eficazes.

...o material experimental selecionado para a atividade experimental sempre tem um papel fundamental para promover o que os alunos vão observar e aprender, ou para confundi-los. A simplicidade ou complexidade, a novidade ou a familiaridade dos materiais do laboratório tornam-se uma importante variável, que os professores precisam considerar para promover uma aprendizagem significativa (CARVALHO, 2010).

Dentre os recursos que podem ser utilizados pelos professores destacam-se os materiais de baixo custo e simulações computacionais, que se mostram bastante eficazes e de fácil acesso, auxiliando os alunos a compreenderem os fenômenos e suas aplicações. Entretanto, é importante salientar que a utilização de softwares e materiais mais sofisticados também é desejável.

## **1.2 O ensino de óptica no ensino médio**

No ensino médio, a óptica é introduzida durante o segundo ano. No volume 2 do caderno do Estado de São Paulo, material de apoio para o professor, os conteúdos de óptica começam a ser estudados a partir dos conceitos de luz abordando questões como: De onde vem a luz? Como é produzida? Como se propaga? Como se formam as imagens em espelhos ou lentes? Como ocorre o processo da visão? (CADERNO DO PROFESSOR DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2014-2017). Os conceitos abordados incluem teorias sobre a visão, como se formam as imagens, propagação retilínea da luz, refração, reflexão, lentes convergentes e divergentes, sugerindo experimentos específicos para cada um dos assuntos abordados. Como exemplo, podemos citar o experimento proposto chamado de “câmara escura”, o qual pode ser utilizado para simular o funcionamento do olho humano.

As investigações a respeito da natureza da luz mostraram que a radiação eletromagnética possui natureza dual, podendo ter comportamento tanto de onda como de partícula (JEWETT JR.; SERWAY, 2012). Do ponto de vista da mecânica quântica, a luz é composta de partículas chamadas de fótons. Os fótons possuem massa de repouso nula, não têm carga elétrica e se movem à velocidade da luz. A natureza corpuscular da luz foi estabelecida após os trabalhos do físico Albert Einstein em 1905, na explicação do efeito

fotoelétrico, e nos experimentos e teoria que levou à descoberta do efeito Compton em 1923 pelo físico Arthur Holly Compton (JEWETT JR.; SERWAY, 2012).

As ondas eletromagnéticas, por outro lado, não possuem posição definida no espaço, não possuem massa, transportam energia e não necessitam de um meio para se propagar. Os trabalhos de James Clerk Maxwell (1831 – 1879), no século XIX, conduziram a importantes descobertas sobre a natureza da luz, permitindo avanços em diversas áreas do conhecimento, não se restringindo apenas à Física, mas também na Química, na Medicina, e em diversas outras áreas do conhecimento. De acordo com a teoria proposta por Maxwell em 1865, uma onda eletromagnética consiste na propagação de campos elétricos e magnéticos no espaço, que podem ser produzidos devido à aceleração de partículas eletricamente carregadas (PETRUCCI; HERRING; MADURA; BISSONNETTE, 2011). Uma onda eletromagnética pode se propagar em diversos meios tais como ar, vidro, materiais transparentes e também no vácuo. No vácuo a velocidade de propagação da onda ocorre com a velocidade da luz,  $c$  ( $\sim 3 \times 10^8$  m/s) (HEWITT, 2008).

Nos demais meios, a velocidade de propagação da onda eletromagnética depende das propriedades do meio. A mudança de velocidade da luz de um meio para outro está relacionada com o índice de refração do material que compõe cada um dos meios. O índice de refração ( $n$ ) é definido como (JEWETT JR.; SERWAY, 2012):

$$n = \frac{\text{velocidade da luz no vácuo } (c)}{\text{velocidade da luz em um meio } (v)}$$

O índice de refração é um número inversamente proporcional à velocidade de propagação da onda em um meio material, considerada em relação à velocidade da luz no vácuo (JEWETT JR.; SERWAY, 2012).

A frequência da onda não se altera ao passar de um meio material para outro (YOUNG; FREEDMAN; FORD, 2016). Por outro lado, o comprimento de onda  $\lambda$  sofre alteração em diferentes meios materiais. Em qualquer material temos que  $v = \lambda \cdot f$  e a frequência  $f$  em um meio material tem o mesmo valor que no vácuo. Uma vez que a velocidade da luz em um meio material é menor que no vácuo, deve haver nesse meio uma redução correspondente no comprimento de onda  $\lambda$ . Denominando o comprimento de onda no vácuo como  $\lambda_0$ , temos  $c = \lambda_0 \cdot f$ . Para um meio material, teremos a velocidade de propagação da luz ( $v$ ) expressa como  $v = \lambda \cdot f$ .

Portanto  $f = \frac{c}{\lambda_0} = \frac{v}{\lambda}$  e então  $\frac{c}{v} = \frac{\lambda_0}{\lambda} = n = \text{índice de refração do material}$ .

O índice de refração do ar à temperatura padrão de 25°C e pressão de 1,0 bar está em torno de 1,0003 mas geralmente emprega-se o valor exato 1,00. Para os gases, o índice de refração aumenta com a densidade. Como os gases se expandem com o aquecimento, o índice de refração destes materiais caem com a temperatura. Muitas lentes empregadas em instrumentos ópticos apresentam índice de refração entre 1,5 e 2,0 (YOUNG; FREEDMAN; FORD, 2016).

A óptica geométrica e a óptica física são ramos da Física que buscam estudar o comportamento da luz quando esta se propaga em diferentes meios. Na óptica física a luz é tratada como onda eletromagnética e, portanto, estuda-se sua natureza ondulatória. É na óptica física que são observados os fenômenos de difração, emissão, composição, absorção, polarização e interferência da luz. Na óptica geométrica é empregado o conceito de raios de luz a partir da utilização de modelos geométricos. A propagação da luz tem direção e sentido e costuma ser representada geometricamente por segmentos de reta, denominados raios de luz. O conjunto de raios de luz recebe o nome de feixe de luz que, conforme o fenômeno estudado, pode ser um feixe convergente, divergente ou paralelo (FERRARO; SOARES, 2004).

A reflexão e a refração da luz são os processos físicos responsáveis pela formação das imagens em espelhos e em lentes, bem como suas aplicações tecnológicas no desenvolvimento de instrumentos ópticos. A óptica geométrica se baseia em três princípios físicos para explicar os fenômenos luminosos. O primeiro é o Princípio da Propagação Retilínea da Luz, que diz “num meio homogêneo e transparente a luz se propaga segundo trajetórias retilíneas” (FERRARO; SOARES, 2004), o segundo é o Princípio da Independência dos raios de luz, de acordo com o qual “quando raios de luz se cruzam, cada um continua sua propagação independentemente da presença dos outros”, (FERRARO; SOARES, 2004) enquanto o terceiro princípio é o da Reversibilidade, “a trajetória seguida pela luz é independente do seu sentido de propagação” (TEIXEIRA, 2021). Os conceitos de óptica, que estão relacionados com a natureza e a propagação da luz, são comuns às disciplinas de Química, Física e Biologia, o que possibilita uma conexão entre as áreas, abrindo espaço para a realização de aulas e atividades interdisciplinares.

## 2 OBJETIVOS

Este trabalho tem como objetivo o desenvolvimento de uma proposta de sequências didáticas para o ensino de óptica geométrica, voltada para o ensino médio. A proposta foi elaborada com base em atividades experimentais, utilizando materiais de baixo custo, e simulações computacionais, usando objetos de aprendizagem disponíveis em repositórios online. As sequências didáticas serão elaboradas levando em conta os conhecimentos prévios dos estudantes, a fim de estimular e facilitar o processo ensino-aprendizagem, bem como aumentar o interesse dos estudantes pela área científica.

### 3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

#### 3.1 Natureza da luz

É através dos olhos que percebemos, principalmente, o mundo à nossa volta. Essa percepção utiliza o sentido da visão que, ao ser estimulado pela luz recebida do ambiente, permite-nos captar informações, visualizar e interagir com objetos e pessoas ao redor. Além da visão, a luz é responsável por vários outros efeitos, dentre os quais a fotossíntese nos organismos clorofilados e a ativação da vitamina D no organismo humano são exemplos (STRYER, 1988).

Considerações relacionando a luz ao sentido da visão (do grego *optiké*) já aparecem entre os filósofos gregos do período Helenístico, por volta do século III a. C. (SAMPAIO; CALÇADA, 2001).

Sir Isaac Newton (1642 – 1727) desenvolveu uma teoria sobre a natureza corpuscular da luz, ainda bastante aceita até o final do século XVIII. De acordo com essa teoria, a luz era composta por partículas que saíam do objeto visualizado ou mesmo dos olhos do observador. Com a ideia de que as partículas de uma fonte de luz incitavam o senso de visão ao entrar nos olhos, Newton conseguiu explicar os fenômenos de reflexão e refração.

O físico e astrônomo holandês Christian Huygens (1629 – 1695) propôs outro modelo – de onda de luz – que também foi capaz de explicar os fenômenos de reflexão e refração.

No século XIX, o físico e médico britânico Thomas Young (1773 – 1829) demonstra que, em condições adequadas, os raios de luz são capazes de interferir uns nos outros, estando de acordo com o princípio da superposição. Esse comportamento de superposição, que não pode ser explicado por um modelo de partículas, evidenciou claramente a natureza ondulatória da luz.

A partir de soluções matemáticas das equações do eletromagnetismo, o físico e matemático britânico James Clerk Maxwell (1831 – 1879) em 1873 mostrou que a luz é uma onda eletromagnética de alta frequência. A comprovação experimental da teoria de Maxwell aconteceria em 1887, quando o físico alemão Heinrich Rudolf Hertz (1857 – 1894) foi capaz de produzir e detectar experimentalmente ondas eletromagnéticas.

No início do século XX, a natureza da luz voltaria novamente ao centro das discussões científicas, pois o modelo ondulatório não era capaz de explicar o processo de ejeção de elétrons de uma placa metálica quando iluminada com luz de frequências específicas. Esse fenômeno, observado experimentalmente por Heinrich Hertz em 1887 ficou conhecido como efeito fotoelétrico. Nesse efeito observamos que, quando luz de um determinado comprimento de onda atinge uma superfície metálica, elétrons são ejetados do metal. Para que isso ocorra, é necessária uma frequência específica, ou seja, o efeito fotoelétrico não depende da intensidade da luz incidente, mas de sua frequência. Tais resultados contradizem a ideia anterior de que para acrescentar mais energia ao elétron seria necessário um feixe mais intenso de luz.

No ano de 1905 o físico alemão Albert Einstein (1879 – 1955) propôs uma explicação para o efeito fotoelétrico. A explicação fornecida por Einstein baseia-se na hipótese utilizada pelo físico Max Planck (1858 – 1947) em 1900, para explicar a radiação de corpo negro, de acordo com a qual a energia de uma onda de luz está presente em partículas denominadas fótons, que seriam “pacotes” de energia. Dizemos então que a energia está quantizada.

De acordo com essa explicação, a energia de um fóton é proporcional à frequência da onda eletromagnética, o que leva à seguinte equação:

$$E = hf$$

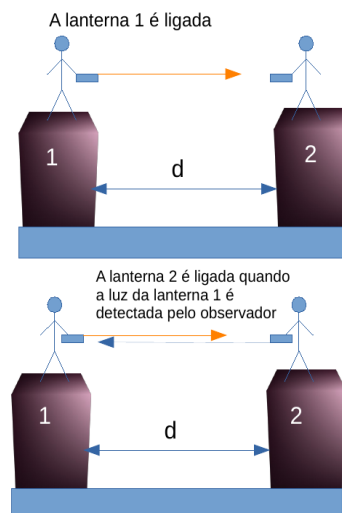
Sendo  $E$  a energia do fóton,  $h$  a constante de Planck ( $6,63 \times 10^{-34}$  J.s) e  $f$  a frequência da luz.

Em razão desses desenvolvimentos, a luz deve ser considerada como tendo uma natureza dupla. Ou seja, tem características de uma onda em algumas situações e de uma partícula em outras. A luz é a luz, com certeza. Entretanto, a pergunta “a luz é uma onda ou uma partícula?” é inadequada. A luz, às vezes, se comporta como uma onda, e outras, como uma partícula. (JEWETT JR.; SERWAY, 2012, p. 3)

Outra característica da luz é a velocidade. Por algum tempo achou-se que sua velocidade era instantânea, e com esse pensamento podia-se dizer que sua velocidade seria infinita, mas hoje se sabe que ela é finita.

Galileu, em 1635, tentou medir a velocidade da luz sem sucesso. O experimento foi feito com duas lanternas, a princípio cobertas por um tecido, levadas por dois assistentes ao topo de dois morros separados por 30 km. Quando posicionados nas respectivas posições, o assistente 1 iria tirar a venda sobre sua lanterna. No momento em que o assistente 2 detectasse a luz emitida pela lanterna 1, retiraria a cobertura da lanterna 2. Galileu assumiu que, ao cronometrar o tempo gasto pela luz para chegar até o segundo observador e posteriormente retornar até o primeiro, forneceria o tempo total para realizar o percurso. Como a distância entre os observadores era conhecida, seria possível determinar a velocidade da luz. Os resultados obtidos por Galileu não foram satisfatórios. Atualmente se sabe que a partir da metodologia adotada por Galileu seria impossível medir a velocidade, pois o tempo que a luz gasta para chegar ao segundo observador é muito menor do que o tempo de reação dos observadores para descobrir a lanterna e acionar o cronômetro (JEWETT JR.; SERWAY, 2012).

Figura 1 – Ilustração do experimento de Galileu



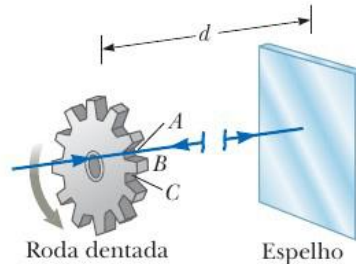
Fonte: Próprio autor

Outros cientistas também tentaram medir a velocidade da luz, mas foi o físico francês Armand H. L. Fizeau (1819-1896) que em 1849 consegue estimar uma velocidade de  $3,1 \times 10^8$  m/s, muito próximo do valor aceito nos dias de hoje que é de  $2,99792458 \times 10^8$  m/s.



Na figura abaixo podemos ver uma simplificação do experimento de Fizeau, que consiste em medir o intervalo de tempo que a luz demora para percorrer um caminho de ida e volta de um ponto (consideramos a roda dentada) até o espelho e do espelho até o ponto de partida.

Figura 2 – Ilustração do experimento de Fizeau



Fonte: Adaptado (JEWETT, JR.; SERWAY, 2012; p. 4)

Para medir o tempo do percurso, Fizeau utilizou uma roda dentada giratória, que converte um feixe contínuo de luz em uma série de pulsos de luz. A rotação dessa roda controla o que um observador vê na fonte de luz. Por exemplo, se o pulso propagando-se em direção ao espelho e passando pela abertura no ponto *A* na Figura retornasse à roda no instante em que o dente *B* girou na posição para cobrir o caminho de volta, o pulso não atingiria o observador. Com uma taxa maior de rotação, a abertura no ponto *C* poderia se mover até a posição para permitir que o pulso refletido atinja o observador. Conhecendo a distância *d*, o número de dentes na roda e a velocidade angular da roda, Fizeau chegou a um valor de  $3,1 \times 10^8$  m/s (JEWETT JR.; SERWAY, 2012, p. 4).

Atualmente, a velocidade da luz não é medida, mas definida. Em primeiro lugar, o Sistema Internacional de Unidades define o segundo como o tempo para que um átomo de Césio realize 9.192.631.770 transições hiperfinas. O metro é definido como a distância que a luz percorre no vácuo em  $1/299\,792\,458$  segundo. O efeito dessa definição é fixar a velocidade da luz em exatamente 299 792 458 m/s. Logo, em um segundo, a luz percorre 299 792 458 metros (THE INTERNATIONAL SYSTEM OF UNITS, 2001).

### 3.2 Óptica geométrica

A óptica Geométrica estuda efeitos relacionados à incidência e propagação da luz em objetos denominados sistemas ópticos, tais como lentes e espelhos. Na óptica geométrica tratamos a trajetória da luz como um segmento de reta.

### 3.2.1 Termos utilizados em óptica

**Fontes de luz:** quaisquer corpos capazes de enviar luz ao ambiente em que se encontram.

**Fontes primárias de luz ou corpos luminosos:** são aqueles corpos capazes de produzir a luz que enviam. De modo geral as estrelas são fontes primárias de luz, uma lâmpada acesa ou um palito de fósforo queimando também podem ser considerados fontes primárias (SAMPAIO; CALÇADA, 2001).

**Fontes secundárias de luz ou corpos iluminados:** são aqueles corpos que não produzem a luz que enviam. Tais corpos recebem luz de alguma outra fonte, eventualmente mas não necessariamente primária, e enviam uma parte da luz recebida. Um exemplo clássico é a Lua, que envia à Terra, por reflexão, uma parte da luz que recebe do Sol (SAMPAIO; CALÇADA, 2001).

### 3.2.2 Classificação dos meios em relação à propagação da luz

Um meio é denominado **transparente** quando permite a propagação regular da luz e também nitidez na visualização do formato da fonte emissora, sem qualquer dispersão. O ar atmosférico é um exemplo de meio transparente (NUNES, 1994).

Um meio que permita a propagação da luz, porém de forma irregular, sem que haja nitidez na visualização da fonte emissora é denominado **meio translúcido**. Objetos vistos através de meios translúcidos apresentam imagens bastante distorcidas e irregulares, devido à dispersão sofrida pela luz. Uma neblina ou um vidro fosco são exemplos de meios translúcidos (NUNES, 1994).

Por sua vez, um **meio opaco** não permite a propagação da luz. Ao atingir a superfície de um meio opaco, a luz tende sofrer absorção e reflexão, ou apenas absorção. Uma parede de tijolos ou uma porta de madeira são exemplos de meios opacos (SAMPAIO; CALÇADA, 2001).

A classificação de um meio em transparente, translúcido ou opaco é relativa, pois o efeito resultante dependerá do comprimento de onda da radiação eletromagnética que incide sobre ele. Um meio que seja transparente para a radiação eletromagnética de um determinado comprimento de onda poderá ser opaco para um comprimento de onda diferente. Um caso bastante conhecido é o vidro que, utilizado em estufas para crescimento de plantas, é

transparente para a luz visível, permitindo sua passagem, mas é opaco, ou seja, não permite a passagem de luz para o comprimento de onda do infravermelho.

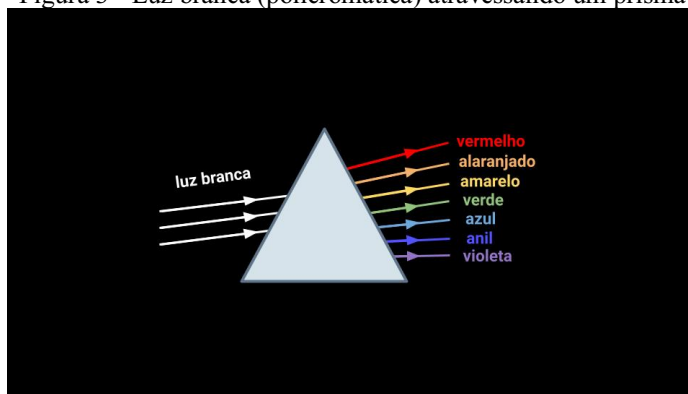
Um meio é dito **homogêneo** ao apresentar as mesmas propriedades em toda sua extensão. Uma pequena camada de ar atmosférico, como o ar contido em uma sala, apresenta a mesma composição e densidade em todos os seus pontos e, portanto, pode ser considerada um meio homogêneo. Por sua vez, a atmosfera terrestre considerada em sua totalidade é um meio **heterogêneo**, pois sua densidade varia com a altitude.

Em Óptica, um meio **isótropo** (ou **isotrópico**) é aquele cuja velocidade de propagação da luz em seu interior não depende da direção considerada. Caso as propriedades apresentem variação conforme a direção considerada, o meio será chamado **anisótropo** ou **anisotrópico**. Enquanto o critério de homogeneidade se refere a um ponto ou região do meio considerado, a isotropia considera uma direção ao longo da qual serão analisadas as propriedades daquele meio.

Um meio que seja homogêneo, transparente e isotrópico é chamado **refringente** (SAMPAIO; CALÇADA, 2001).

A luz branca, ao atravessar um prisma sofre decomposição em diversas cores, como o vermelho, o verde e o azul, que são denominadas cores primárias. Define-se **luz policromática** aquela que pode ser decomposta em dois ou mais componentes, como é o caso da luz branca (NUNES, 1994).

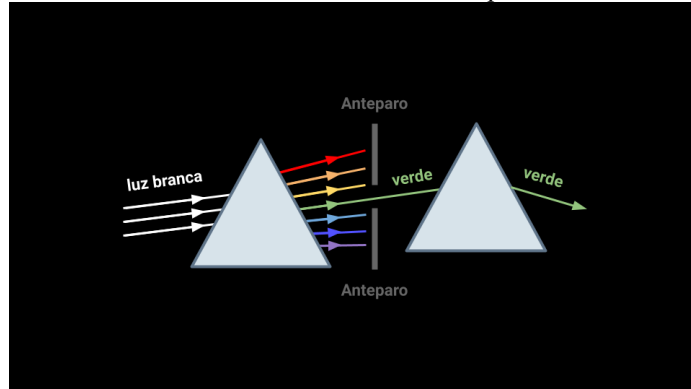
Figura 3 - Luz branca (policromática) atravessando um prisma



Fonte: Adaptado (JEWETT, JR.; SERWAY, 2012; p. 26)

A luz que não pode ser decomposta em dois ou mais componentes é denominada **monocromática**. A partir da luz branca proveniente do Sol, as cores vermelho, verde e azul são consideradas monocromáticas, assim como a luz amarela proveniente de uma lâmpada de sódio.

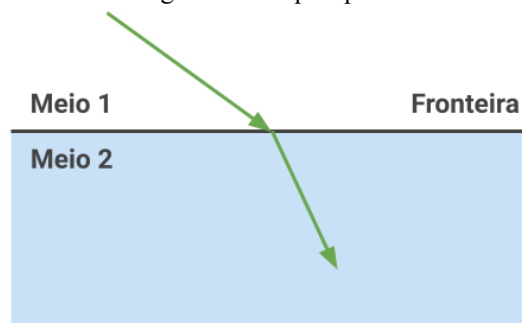
Figura 4- Luz monocromática atravessando dois prismas sucessivamente



Fonte: Adaptado (JEWETT, JR.; SERWAY, 2012; p. 26)

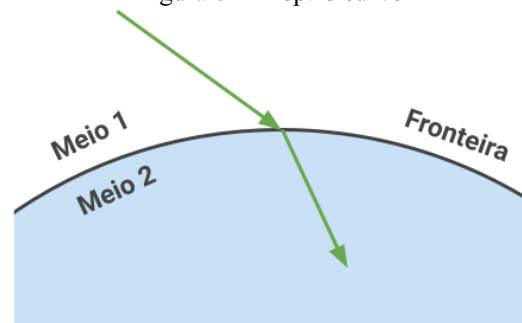
Um sistema óptico que seja formado por dois materiais diferentes e possua uma superfície nítida de separação denomina-se **dióptro**. O formato da superfície de separação determinará um dióptro plano ou curvo.

Figura 5 – Dióptro plano



Fonte: adaptado (JEWETT, JR.; SERWAY, 2012; p. 9)

Figura 6 – Dióptro curvo



Fonte: adaptado (JEWETT, JR.; SERWAY, 2012; p. 9)

### 3.2.3 Índice de refração

Em qualquer meio material, a velocidade de propagação da luz monocromática é menor que no vácuo. A razão entre as velocidades da luz ao passar de um meio (a) para outro meio (b) é uma grandeza adimensional denominada **índice de refração** e é representada por  $n_{a,b}$ . Indica-se essa razão por:

$$n_{a,b} = \frac{va}{vb}$$

Denomina-se **índice de refração absoluto** à razão entre a velocidade da luz no vácuo (c) e a velocidade da luz em outro meio (v), representado como:

$$n = \frac{c}{v}$$

Para qualquer meio material, uma vez que  $c > v$ , então teremos  $n > 1$ . Pode-se considerar que o índice de refração seja um número que indica quantas vezes a velocidade da luz no vácuo é maior do que em um determinado meio material (NUNES, 1994).

Ao compararmos dois materiais diferentes, será denominado **mais refringente** aquele material que apresentar o **maior índice de refração absoluto** (NUNES, 1994). A Tabela 1 ilustra o índice de refração para diversas substâncias.

Tabela 1 – Alguns exemplos de índice de refração.

Substância	Índice de refração	Substância	Índice de refração
<i>Sólidos a 20 °C</i>		<i>Líquidos a 20 °C</i>	
Zircônia cúbica	2,20	Benzeno	1,501
Diamante (C)	2,419	Dissulfeto de carbono	1,628
Fluoreto (CaF <sub>2</sub> )	1,434	Tetracloroeto de carbono	1,461
Quartzo fundido (SiO <sub>2</sub> )	1,458	Álcool etílico	1,361
Fosfeto de gálio	3,50	Glicerina	1,473
Vidro, janela	1,52	Água	1,333
Vidro, sílex	1,66		
Gelo (H <sub>2</sub> O)	1,309	<i>Gases a 0 °C, 1 atm</i>	
Poliestireno	1,49	Ar	1,000293
Cloreto de sódio (NaCl)	1,544	Dióxido de carbono	1,00045

*Observação:* Todos os valores são para luz com comprimento de onda de 589 nm no vácuo.

Fonte: JEWETT, JR.; SERWAY, 2012; p. 10

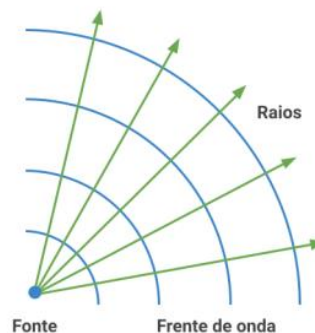
### 3.2.4 Propagação da luz

Considerando a propagação da luz de acordo com a teoria das partículas (corpuscular), os raios de luz podem ser considerados como uma representação do caminho percorrido pelas partículas (JEWETT, JR.; SERWAY, 2012).

Em Óptica Geométrica, a direção através da qual a luz se propaga é representada por linhas imaginárias, denominadas raios de luz, que descrevem o caminho percorrido pela frente de onda. Quando a luz se propaga em um meio homogêneo e isotrópico, os raios de luz são representados como segmentos de reta perpendiculares à frente de onda. Por outro lado, quando a propagação ocorre em um meio anisotrópico, não homogêneo, a luz poderá percorrer trajetórias não retilíneas. Nesta situação, a representação geométrica dos raios de luz será igualmente não retilínea (JEWETT, JR.; SERWAY, 2012).

**Frentes de onda esféricas:** os raios de luz possuem representação radial, partindo do centro da esfera, que pode ser uma fonte pontual como aquela formada por um anteparo de fenda única, conforme ilustrado na Figura 7.

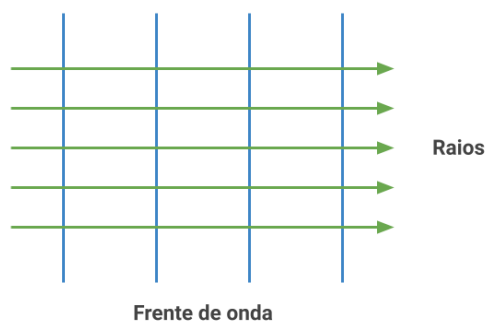
Figura 7 - Frente de onda esférica



Fonte: adaptado de Young, Hugh D.; Freedman, Roger A.; Ford, A. Lewis. University Physics with Modern Physics, 206. p.1104

**Frente de onda planar:** a figura 8 ilustra uma situação em que os raios de luz serão perpendiculares à frente de onda e paralelos entre si.

Figura 8 - Frente planar

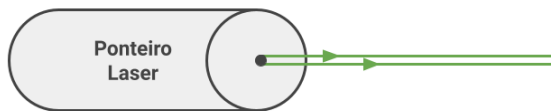


Fonte: adaptado de Young, Hugh D.; Freedman, Roger A.; Ford, A. Lewis. University Physics with Modern Physics, 2016. p.1104

Em um local com neblina, as partículas dispersas na atmosfera permitem a visualização da trajetória percorrida pela luz de uma lanterna acesa ou mesmo de um ponteiro laser. Essa região de propagação da luz recebe o nome de pincel de luz, cuja representação utiliza o conceito de raios de luz. A luz emitida por uma vela acesa se propaga em todas as direções. Esse tipo de propagação caracteriza um pincel de luz com formato esférico.

Na Figura 9 temos a representação esquemática de um pincel de luz cilíndrico.

Figura 9 – Ilustração de uma ponteira laser

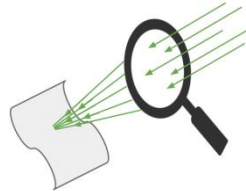


Fonte: Próprio autor

Uma ponteira laser emite luz que, ao atravessar um meio material, pode ser representada como um pincel cilíndrico.

Um pincel de luz também pode ser do tipo cônico. A seguir temos dois exemplos: um pincel cônico convergente (Figura 10) e um pincel cônico divergente (Figura 11).

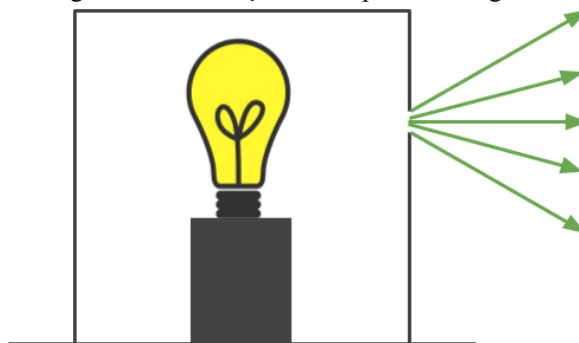
Figura 10 – Pincel convergente



Fonte: Próprio autor

O esquema representa um pincel de luz cilíndrico que, ao atravessar uma lente (de uma lupa), emerge como um pincel cônico convergente, que se concentra sobre um ponto próximo.

Figura 11 – Ilustração de um pincel divergente



Fonte: Próprio autor

No esquema, temos uma lâmpada protegida por um anteparo que contém um pequeno orifício. Quando a luz proveniente da lâmpada atravessa o orifício, ela o faz no formato de um pincel cônico divergente.

A Óptica Geométrica assume, com base em dados experimentais, que a luz, ao atravessar um meio homogêneo e isotrópico, propague-se em linha reta ao longo de uma única direção. Este conceito é denominado **Princípio da Propagação Retilínea da luz**. Mudanças de direção podem ocorrer quando há mudança nas propriedades do meio, ou quando a luz atinge a superfície de um meio diferente, e nele se propaga, como ao passar do ar para a água.

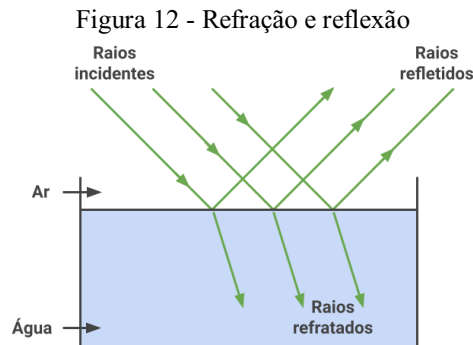
De acordo com o **Princípio de Independência dos raios de luz**, caso dois ou mais pincéis de luz se cruzem em uma determinada região de um meio material, não haverá alteração de suas características. Tanto as direções originais quanto os sentidos de propagação e os respectivos comprimentos de onda – portanto as cores – se propagam sem sofrer interferências.

Quando duas pessoas (P1 e P2) se posicionam olhando para um mesmo espelho, caso a pessoa P1 consiga enxergar a pessoa P2, então a pessoa P2 também conseguirá enxergar a pessoa P1. A trajetória dos raios de luz que se propagam num meio homogêneo, transparente e isotrópico, como o ar, não depende do sentido de propagação. Esse efeito é chamado **Princípio da Reversibilidade dos raios de luz** (YOUNG; FREEDMAN; FORD, 2016).

### 3.2.5 Reflexão e refração

Ao atingir uma interface que separa dois meios transparentes distintos, como o ar e a água ou a água e o vidro, a luz será parcialmente refletida e parcialmente refratada, ou seja, uma parcela será transmitida para o interior do segundo material (Figura 12). No fenômeno da **reflexão**, ao colidir com a superfície de separação dos meios, a luz retorna ao meio inicial de propagação, enquanto na **refração** ela passa a se propagar através do segundo meio (YOUNG; FREEDMAN; FORD, 2016).

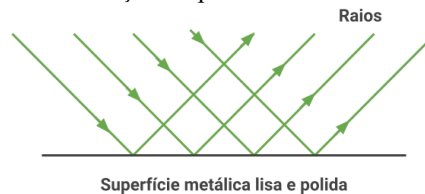




Fonte: adaptado (JEWETT, JR.; SERWAY, 2012; p. 8)

Ao atravessar um meio transparente, homogêneo e isotrópico, a luz pode atingir a superfície de um meio opaco, no qual ela não se propague. Ao atingir a interface entre dois meios, a luz pode ser absorvida. Caso não ocorra absorção, haverá apenas reflexão, cujo padrão dependerá das características da superfície atingida. No caso de uma superfície lisa e polida, haverá reflexão denominada especular, com um ângulo de reflexão definido e idêntico para todos os raios refletidos, conforme ilustrado na figura 13 (JEWETT, JR.; SERWAY, 2012).

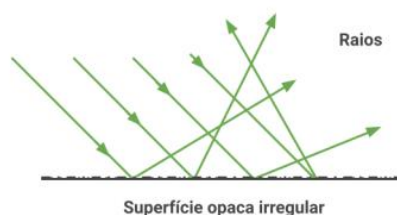
Figura 13 – Ilustração do processo de reflexão especular



Fonte: adaptado (JEWETT, JR.; SERWAY, 2012; p. 6)

No caso da superfície atingida pelos raios de luz ser irregular, apresentando rugosidades, a reflexão será denominada difusa, com os raios de luz refletidos em diferentes direções conforme ilustrado na Figura 14 (NUNES, 1994).

Figura 14 - Ilustração do processo de reflexão difusa

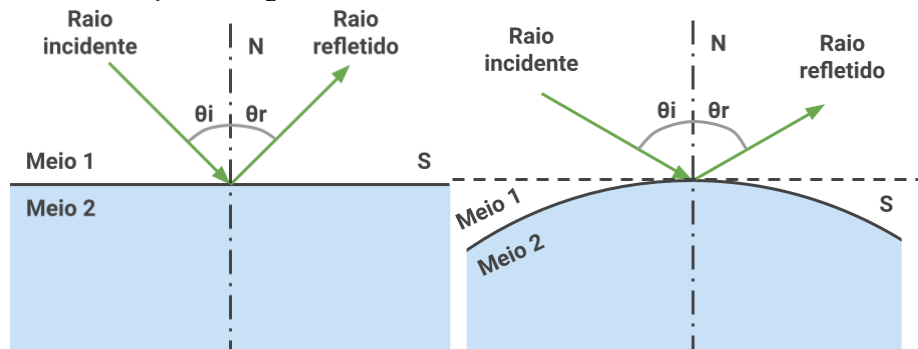


Fonte: adaptado (JEWETT, JR.; SERWAY, 2012; p. 6 b)

Para a reflexão especular, o ângulo de incidência, a normal e o ângulo de reflexão estão contidos no mesmo plano. A Lei da Reflexão estabelecida experimentalmente mostra a existência da igualdade entre os ângulos de incidência ( $\theta_i$ ) e de reflexão ( $\theta_r$ ) da luz:

$$\theta_i = \theta_r$$

Figura 15 – Ilustração dos ângulos de incidência e de reflexão da luz na interface entre dois meios.



Fonte: adaptado (RAMALHO JR.; FERRARO; SOARES. 1981. p. 218)

Quando um raio de luz se propaga de um meio transparente para outro, na fronteira entre os meios, o raio que entra no segundo meio muda sua direção de propagação e é denominado **refratado** (JEWETT; SERWAY 2012). Os raios incidente, refletido e refratado são coplanares. O ângulo de refração, aqui denominado  $\theta_2$  relaciona-se com o ângulo de incidência  $\theta_1$  e com as propriedades dos meios percorridos :

$$\frac{\sin \theta_2}{\sin \theta_1} = \frac{v_2}{v_1}$$

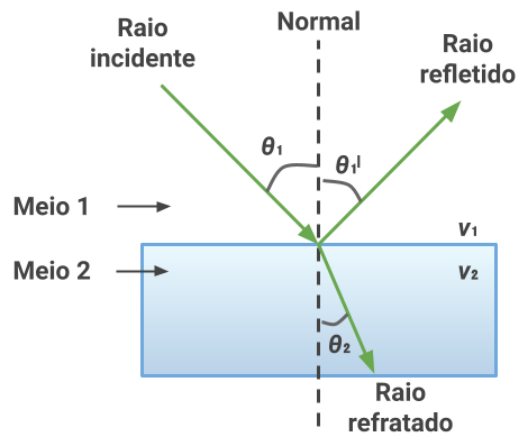
Podemos relacionar as velocidades de propagação da luz nos dois meios e os respectivos índices de refração, uma vez que:

$$n_1 = \frac{c}{v_1} \text{ e } n_2 = \frac{c}{v_2}$$

Sendo  $v_1$  e  $v_2$  as velocidades da luz,  $n_1$  e  $n_2$  os índices de refração nos meios 1 e 2 respectivamente. Então pode-se escrever:

$$\frac{\sin \theta_2}{\sin \theta_1} = \frac{n_1}{n_2} \text{ ou ainda } n_1 \cdot \sin \theta_1 = n_2 \cdot \sin \theta_2 \quad (\text{Lei da Refração de Snell})$$

Figura 16 – Ilustração dos raios de luz incidente, refratado e refletido entre dois meios.



Fonte: adaptado (JEWETT, JR.; SERWAY, 2012; p. 8)

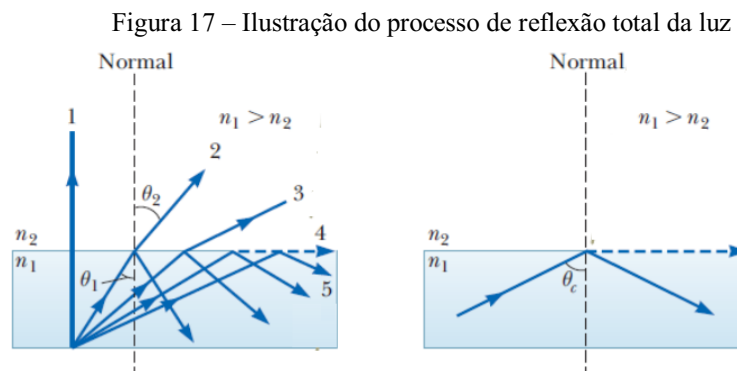
Quando a luz passa de um meio 1 para um meio 2, é possível ocorrer três situações:

I. O meio 2 ser mais refringente que o meio 1, ou seja, apresentar maior índice de refração. Neste caso, o raio refratado se aproxima da normal e o ângulo de refração  $\theta_2$  será menor que o ângulo de incidência  $\theta_1$ .

II. O meio 1 ser mais refringente que o meio 2. Neste caso o raio refratado se afasta da normal e o ângulo de refração  $\theta_2$  será maior que o ângulo de incidência  $\theta_1$ . Há uma situação na qual o ângulo de refração atinge o valor de  $90^\circ$ . Neste caso, o ângulo de incidência é denominado **ângulo crítico**. Qualquer aumento do ângulo de incidência além do ângulo crítico fará com que ocorra apenas reflexão, sem refração. Tal situação é denominada **reflexão total** e é o princípio empregado nas fibras ópticas.

III. Ambos os meios possuem mesma refração, ou seja, mesmo índice de refração. Neste caso não haverá desvio da luz ao passar de um meio para outro.

A figura abaixo ilustra o aumento do ângulo de incidência até a situação de reflexão total.



Fonte: JEWETT, JR.; SERWAY, 2012; p. 17

### 3.2.6 Óptica Física

A Óptica Física, que também pode ser denominada Óptica Ondulatória estuda os fenômenos de interferência, difração e polarização da luz (JEWETT JR.; SERWAY, 2012).

### 3.2.7 Difração

Duas pessoas que estejam próximas a uma mesma esquina de uma rua, em uma posição que não possam se enxergar, mesmo assim ao falarem conseguem ouvir uma à outra. As ondas sonoras conseguem se propagar de modo que as duas pessoas se ouçam. Esse efeito é denominado difração. Para explicar o fenômeno de difração da luz, é necessária uma abordagem ondulatória.

De acordo com Zilio (2009) o fenômeno da difração foi descoberto pelo padre italiano Francesco Maria Grimaldi (1618 – 1663) através da observação de bandas de luz na sombra de um bastão iluminado por uma pequena fonte.

Ao atravessar uma fenda cujas dimensões sejam comparáveis ou menores do que seu comprimento de onda, a luz sofre um espalhamento em todas as direções à frente da fenda, inclusive aquelas que não seriam atingidas caso se movesse em linha reta, em um fenômeno chamado difração (JEWETT JR.; SERWAY, 2012).

Figura 18 – Ilustração do fenômeno da difração por fenda única.



Fonte: Young, Hugh D.; Freedman, Roger A.; Ford, A. Lewis. University Physics with Modern Physics, 2016.

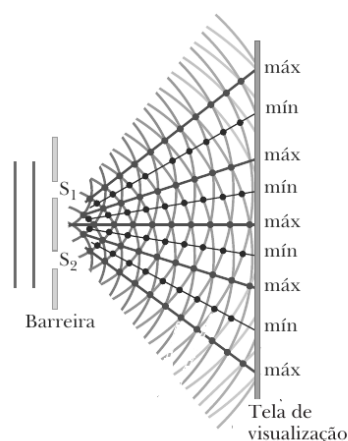
Ao atravessar a fenda, verifica-se que a luz penetra na região de sombra geométrica, com o aparecimento de franjas claras e escuras na vizinhança do limite da sombra (NUSSENZVEIG, 1998).

### 3.2.8 Interferência de ondas

O termo interferência se refere a qualquer situação na qual duas ou mais ondas se superponham no espaço. Quando isso ocorre, a onda resultante em um dado ponto e instante de tempo é regida pelo princípio da superposição (YOUNG; FREEDMAN; FORD, 2016).

Quando duas ou mais ondas se superpõem, o deslocamento resultante em qualquer ponto e a qualquer instante é encontrado pela adição dos deslocamentos que seriam produzidos por cada onda, caso fosse a única a passar pelo ponto (YOUNG; FREEDMAN; FORD, 2016). O processo de interferência foi demonstrado pela primeira vez por Thomas Young em 1801. A Figura 19 mostra uma onda plana se aproximando de uma barreira com duas fendas S1 e S2 que funcionam como fontes pontuais de onda coerentes. Para ocorrer a difração é necessário que a abertura das fendas S1 e S2 seja igual ou menor que o comprimento de onda da luz incidente. Após atravessarem as fendas, a parcela da radiação que passou pelas fendas sofrerá difração dando origem a ondas esféricas que poderão interagir construtiva ou destrutivamente. Quando duas ondas, uma que se origina da fonte S1 e outra da fonte S2, estão em fase ao atingirem a tela de visualização, o processo de interferência será construtivo resultando em pontos de máximo (ou franjas claras). Por outro lado, se as duas ondas atingirem a tela fora de fase, devido à diferença de percurso, a interferência será destrutiva resultando nos pontos de mínimos (ou franjas escuras) ilustrados na Figura 19. A diferença de fase entre as ondas ao atingirem um determinado ponto na tela de visualização está relacionadas a diferença de percurso percorridos pelas ondas a partir do ponto de origem (JEWETT, JR.; SERWAY, 2012).

Figura 19 – Ilustração do processo de interferência observado em um experimento de fenda dupla



Fonte: JEWETT, JR.; SERWAY, 2012

### 3.3 Teorias de aprendizagem

A construção do conhecimento de maneira contextualizada e prazerosa, de acordo com Alves e Stachak (2005), é uma das dificuldades enfrentadas pelos professores de Física que atuam no Ensino Médio. A presença de alunos desinteressados e com dificuldades de aprendizagem faz com que os professores sejam pressionados a buscar novos formatos para ensinar. Nesse contexto, o uso da experimentação torna-se uma ferramenta valiosa para despertar interesse, uma vez que reduz o caráter abstrato que geralmente é associado à disciplina. Ao estabelecer uma aproximação entre os alunos e o fenômeno estudado, as atividades experimentais despertam interesse e permitem que, seja por recepção ou descobrimento, atribuam-se significados aos novos conhecimentos, como apresentado por Moreira (2010):

É importante reiterar que a aprendizagem significativa se caracteriza pela *interação* entre conhecimentos prévios e conhecimentos novos, e que essa interação é *não-litera*l e *não-arbitrária*. Nesse processo, os novos conhecimentos adquirem significado para o sujeito e os conhecimentos prévios adquirem novos significados ou maior estabilidade cognitiva. (MOREIRA, 2010 p.2).

O uso de uma demonstração nem sempre possibilita a aprendizagem por descoberta, defendida por Piaget. Em sua teoria, Ausubel aborda a aprendizagem significativa por recepção que, no caso de uma atividade demonstrativa devidamente preparada pelo professor, pode representar um elemento que potencialize a interação dos alunos com o fenômeno estudado.

Um dos maiores trabalhos do professor consiste, então, em auxiliar o aluno a assimilar a estrutura das disciplinas e a reorganizar sua própria estrutura cognitiva, mediante a aquisição de novos significados que podem gerar conceitos e princípios. (PRÄSS, 2012)

A aprendizagem, quando ocorre de forma significativa, gradualmente passa a fazer parte do conjunto de conhecimentos adquiridos pelo aluno e, portanto, credencia-se a desempenhar o papel de conhecimentos prévios em novas interações e atividades realizadas pelo aprendiz.

## 4 METODOLOGIA

A elaboração e a apresentação das propostas didáticas, baseadas em atividades experimentais e de simulações computacionais, buscam explorar os conhecimentos prévios dos estudantes, e ao mesmo tempo, enfatizar a relevância do novo conhecimento. Espera-se que o desenvolvimento de atividades experimentais com materiais de baixo custo, ou simulações com objetos de aprendizagem disponíveis em repositórios virtuais proporcionem maior relevância do tema na perspectiva do educando. Pretende-se que as atividades apresentadas, no seu todo, favoreçam o envolvimento dos alunos com os temas abordados e potencializem a predisposição para aprender.

Este trabalho propõe as seguintes atividades:

- Apresentar uma sequência didática na qual estejam incluídas simulações computacionais, experimentos e demonstrações relacionadas a aplicações da óptica no cotidiano;
- Utilizar o repositório do PhET (Physics Education Technology), que pode ser acessado em [https://phet.colorado.edu/pt\\_BR/](https://phet.colorado.edu/pt_BR/). O PhET é um site que oferece simulações em ciências e matemática, interativas e gratuitas, que podem ser executadas on-line ou podem executadas no computador. A partir dos objetos de aprendizagem disponíveis na página do Phet foram elaboradas propostas de atividades ilustrativas e quantitativas de alguns dos conceitos abordados em óptica geométrica.

Os recursos utilizados nas propostas de atividades incluem:

1) Atividade 1 - Notícia de jornal: são utilizadas duas notícias extraídas da internet, uma com título de “Expansão da Fibra óptica garante melhor qualidade da internet” extraída do link:

<https://www.inova.jor.br/2020/11/11/qualidade-fibra-optica/>

e outra “O que é fibra óptica?” extraída do link:

<https://mundoeducacao.uol.com.br/fisica/a-utilizacao-fibra-optica.htm>

Os textos falam sobre o que é a fibra óptica e a expansão das fibras ópticas e o quanto essa tecnologia é importante nos avanços observados na área de comunicação.

Esta atividade tem a intenção de aguçar a curiosidade dos alunos para o assunto óptica.

2) Atividade 2 – Experimento “**Lápis na água**”. Esse experimento tem como propósito facilitar o entendimento dos conceitos relacionados aos processos de refração da luz.

3) Atividade 3 – Experimento “**Investigando as propriedades de propagação da luz em meios diferentes**”. Esse experimento ajuda a compreensão dos processos de reflexão e refração da luz ao encontrar um meio com índice de refração diferente.

4) Atividade 4 – Simulador PhET. Utilizaremos o objeto de aprendizagem “**desvio da luz**” que, através de um ambiente virtual, simula a incidência de luz em meios diferentes. O objetivo é derivar a lei de Snell.

5) Atividade 5 – Experimento “**difração e interferência**” Esta atividade experimental tem a finalidade de mostrar os conceitos de difração e interferência a partir da utilização de uma fenda circular.

6) Atividade 6 – Elaboração de um **Mapa conceitual** - Usaremos o mapa conceitual como uma estratégia para facilitar a aprendizagem e a fixação dos conceitos estudados até aqui. A proposta é para que os alunos construam um mapa conceitual lançando mão dos conhecimentos adquiridos em óptica.

## 5 PROPOSTAS DE ATIVIDADES DIDÁTICAS

### 5.1 Atividade 1 - Notícia jornalística sobre ciência

Para contribuir no processo de aprendizagem e estimular a curiosidade do aluno, propomos usar uma notícia científica (NC) relacionada à óptica.

A ciência presente nas notícias introduz informações em esfera pública, podendo contribuir com o debate e a tomada de decisões relacionadas com problemas sócio-científicos. Ela também se contrapõe com a ciência presente no currículo escolar, por tratar da ciência em construção, ou seja, o trabalho científico que está sendo desenvolvido atualmente. (MOSINAHTI, 2018, p.26).

Uma NC divulga informações de natureza científica a um público amplo (MOSINAHTI, 2018). Por outro lado, o jornalismo científico representa uma das categorias do jornalismo, destinando-se a uma audiência que pode ser do público em geral ou de algum seguimento ao qual a NC possa ser destinada (DIAS; ALMEIDA, 2009).

As funções que o jornalismo científico deve cumprir são as seguintes: formação da consciência coletiva do cidadão por meio de temas que estimulem o debate em questões



relevantes para a sociedade; valorização da pesquisa nacional; democratização da divulgação científica (RIOS et al. (2005) apud MOSINAHTI, 2018, p. 27).

Com o uso da NC, pretendemos que o aluno associe as notícias com os conceitos científicos, compreenda o impacto das mesmas em sua vida social e associe a notícia com as tecnologias já existentes e os conceitos relacionados ao seu desenvolvimento e aplicações. A utilização da notícia científica também tem como propósito motivar e preparar os alunos para a introdução dos conteúdos de óptica, buscando estabelecer conceitos prévios.

Elencamos aqui duas NC, uma com o título “Expansão da Fibra óptica garante melhor qualidade da internet” extraída do Link:

<https://www.inova.jor.br/2020/11/11/qualidade-fibra-optica/>

### **Expansão da fibra óptica garante melhor qualidade da internet**

11/11/2020 • Posted under: [Opinião](#) by [Vanderlei Rigatieri](#)

Tags: [5G](#), [Fibra óptica](#), [home office](#), [Streaming](#), [WDC Networks](#)



A fibra óptica cresceu com o aumento do consumo de streaming e o home office / [Unsplash](#)

Nos últimos três anos, o mercado de banda larga via fibra óptica cresceu vertiginosamente no Brasil.

De acordo com os dados da Agência Nacional de Telecomunicações (Anatel), de 2017 a 2020, o número de acessos à internet por meio dessa tecnologia cresceu quase cinco vezes.

#### **Utilização da fibra óptica**

Os [serviços de streaming](#), por exemplo, colaboraram para isso acontecer, uma vez que as pessoas procuraram melhorar a qualidade e velocidade de sua internet para aproveitar os serviços de uma melhor forma, Netflix, Globoplay etc.

Neste ano de 2020 não está sendo diferente, o aumento da demanda por uma boa internet nas residências em razão da pandemia certamente foi um dos fatores que aceleraram esse crescimento.

O home office, o entretenimento online, tudo influenciou pela necessidade de uma internet melhor.

É o que revelam os dados da Anatel, do mês de março: os 5.570 municípios brasileiros já são atendidos por alguma tecnologia de acesso à banda larga.

Desse total, 98,8%, ou seja, 5.502 municípios, já têm acesso via fibra óptica.

Números ainda mais recentes da agência apresentam um panorama do quanto esse mercado está expandindo e o quanto ainda há espaço para crescer.

Em julho, a Anatel registrou 34,2 milhões de acessos à banda larga fixa no Brasil, 13,6 milhões deles por fibra (39,8%).

Mais da metade (59,5% ou, 8,134 milhões de contratos) estão nas mãos dos ISPs (Internet Service Provider), conhecidos também como provedores de internet regionais.

A demanda pela banda larga de alta velocidade cresceu tanto junto aos provedores regionais que alguns geradores de conteúdo já estão, inclusive, alocando servidores próprios nos data centers operacionais dessas empresas, para melhorar a experiência do assinante ao baixar os conteúdos.

Esse crescimento dos provedores de internet é uma tendência e deve continuar.

A velocidade com que crescem atualmente é, inclusive, maior do que as grandes operadoras de internet, e acabam impulsionando as maiores empresas a ampliarem suas redes ópticas também.

### **Crescimento na WDC Networks**

Para a WDC Networks, a aposta na fibra óptica tem se mostrado certa.

Só no primeiro semestre deste ano, a empresa registrou um importante aumento de demanda por fibra, o que fez a companhia crescer mais de 20% no período.

Em maio deste ano, houve recorde de vendas e faturamento e a expectativa é crescer 25% até o final de 2020 (a empresa espera fechar o ano com faturamento na casa dos R\$ 750 milhões) e crescer 35% em 2021.

Também houve recorde de vendas para novos assinantes de fibra óptica, passando dos 125 mil novos kits alugados para ISPs (provedores de internet) em um só mês.

Para se ter uma ideia, se fosse um provedor de internet, a WDC estaria hoje com mais de 3 milhões de assinantes, uma vez que já forneceu 3 milhões de modems de fibra aos ISP.

### **Utilidades da fibra óptica**

Atualmente, a fibra óptica é a tecnologia mais importante para as telecomunicações.

Oferece grandes vantagens na conexão, entre elas, maior estabilidade de sinal, menos interferências e capacidade de maior velocidade, garantidas pelos cabos utilizados que possuem maior largura de banda e chegam a lugares mais distantes com melhor qualidade.

Ainda por cima será a grande conexão usada para interligar as futuras antenas de 5G.

O crescimento da procura por essa tecnologia e o surgimento de provedores regionais, favoreceram a popularização da fibra óptica no Brasil, o que resultou em custos muito mais atraentes para os assinantes.

É uma tendência que vai continuar forte, em ritmo alto de crescimento, uma vez que há demanda e espaço para essas redes expandirem.

O home office, por exemplo, não vai acabar com o fim da pandemia, o consumo do streaming também não.

A fibra óptica é uma tecnologia que melhora a qualidade da internet significativamente, mas que, acima de tudo, melhora a qualidade de vida das pessoas, e está sendo pulverizada pelos provedores.

- Por Vanderlei Rigatieri, CEO da [WDC Networks](https://www.wdcnetworks.com.br/)

---

A segunda notícia utilizada tem com o título “A utilização da fibra óptica” extraída do link:

<https://mundoeducacao.uol.com.br/fisica/a-utilizacao-fibra-optica.htm>

---

## A utilização da fibra óptica

A fibra óptica é um material feito de vidro ou de plástico (polímeros), por meio da reflexão ocorre o transporte da luz em seu interior. Com o desenvolvimento da tecnologia do quartzo foi possível a obtenção de fios cada vez mais finos, transparentes e que podem ser encurvados sem se quebrar. Uma característica de grande importância para a construção desse material é a transparência quase absoluta do quartzo com alto grau de pureza. A luz, como sabemos, é uma onda eletromagnética, e como tal ela pode se propagar em qualquer trajetória. Ao penetrar em um filamento de fibra óptica, a luz sofre reflexão total e é por meio dessas reflexões que ela percorre toda a fibra até chegar ao seu destino final.

Muito utilizada na medicina e nas telecomunicações, a fibra óptica é constituída de fio de quartzo muito fino (em torno de 5 milionésimos de metro) que por sua vez é revestido de duas camadas, uma de vidro e outra de plástico, utilizadas para a proteção do fio e melhoria no transporte da luz. Na medicina é utilizado nos equipamentos de endoscópios, aparelhos que fazem o exame de endoscopia, ou em cirurgias. Através de dois feixes que são introduzidos na garganta do paciente, o médico tem a visualização dos órgãos internos, dessa forma ele pode detectar qualquer anormalidade.

Na área das pesquisas espaciais, a fibra óptica é utilizada em um aparelho de telescópio especialmente projetado para fazer as observações simultâneas dos astros.

Nas telecomunicações a fibra óptica é utilizada para transmitir sinais por meio de pulsos eletromagnéticos, ou seja, luz, radiação infravermelha ou qualquer outro tipo de radiação eletromagnética. Por ser mais eficiente e econômica que os cabos de cobre, ela tem sido largamente utilizada no ramo das telecomunicações. A fibra óptica apresenta outra vantagem em relação ao uso de cabos de cobre, nos fios de cobre os amplificadores e os repetidores de sinais devem ser instalados de 4 em 4 km. Já na fibra óptica esses mesmos receptores e amplificadores são instalados em distâncias maiores que 10 km. Apesar de todas essas vantagens, a fibra óptica apresenta duas desvantagens em relação ao uso do cobre. Na fibra a velocidade da emissão de sinais é de aproximadamente 200 000 km/s, ao contrário dos sinais da corrente elétrica, que se propagam com uma velocidade de 300 000 km/s. Outra desvantagem é que a fibra óptica é menos resistente em relação ao fio de cobre.

No cotidiano a fibra óptica é pouco utilizada, no entanto pode ser encontrada na confecção de alguns artigos de decoração e em certos tipos de brinquedos.



Fibra Óptica

Publicado por: Marco Aurélio da Silva Santos

### 5.1.1 Proposta para o aprendizado

Reunir os alunos em pequenos grupos para ler a notícia e responder o questionário.

O professor fornecerá uma cópia do texto e do questionário a ser respondido.

### 5.1.2 Questões

1 – Em uma situação hipotética, você (aluno) é um excelente vendedor que agora vai trabalhar com um produto inteiramente novo para você: as fibras ópticas. Existe uma empresa – cliente importante da sua organização – que ainda não utiliza a fibra óptica e você precisa vender para essa empresa. Quais argumentos você usará para convencer a troca do sistema antigo por fibra óptica? Lembre-se que essa empresa é um cliente muito exigente.

2 - Quais as vantagens de trocar a internet normal por uma de fibra óptica?

**Resposta:**

- Menor espaço ocupado, devido às dimensões reduzidas das fibras ópticas em relação a outros materiais;
- Capacidade para transportar grandes quantidades de informações ao ser comparado ao cabeamento com fios de cobre;
- Imunidade às interferências eletromagnéticas;
- Matéria-prima muito abundante;
- Segurança no sinal;
- Facilidade na instalação;
- Menos deterioração com o tempo, comparando com os fios de cobre.

3 – O que é luz e qual sua natureza?

**Resposta:** A luz é radiação eletromagnética que vai da faixa das ondas de rádio até a faixa dos raios gama. Chamamos de espectro visível a região do espectro eletromagnético que possui comprimento de onda na faixa entre 400 nm e 700 nm.

<b>Cor</b>	<b>Comprimento de onda (nm)</b>	<b>Cor</b>	<b>Comprimento de onda (nm)</b>
<b>Vermelho</b>	625 - 740	<b>Verde</b>	500 - 565
<b>Laranja</b>	590 - 625	<b>Ciano</b>	485 - 500
<b>Amarelo</b>	565 - 590	<b>Azul</b>	440 - 485

A luz tem natureza dual, comportando-se como onda eletromagnética, e como partícula de acordo com o fenômeno experimental observado. Na interferência e difração, a luz tem

comportamento de onda. Na interação com a matéria, causando ionização e excitação, a luz tem comportamento de partícula (fóton).

4 – Você sabe o que é uma fibra óptica e para que serve? Explique

**Resposta:** A fibra óptica é um filamento que pode ser feito de vidro e que transmite informações através da reflexão total da luz. A fibra óptica é usada em equipamentos de informática, equipamentos para realizar exames médicos, telecomunicações e sinais de TV.

5 – Como a luz se propaga na fibra óptica?

**Resposta:** A transmissão é feita através de um feixe de luz lançado em uma das extremidades. O feixe percorre a fibra por meio de sucessivas reflexões internas totais.

## 5.2 Atividade 2 – Lápis na água

Objetivo: Entender o processo de refração da luz.

### 5.2.1 Descrição do objeto de aprendizagem

Esta atividade experimental tem a finalidade de mostrar o conceito de refração da luz ao se propagar em diferentes meios.

a) Materiais

1 copo de vidro transparente;

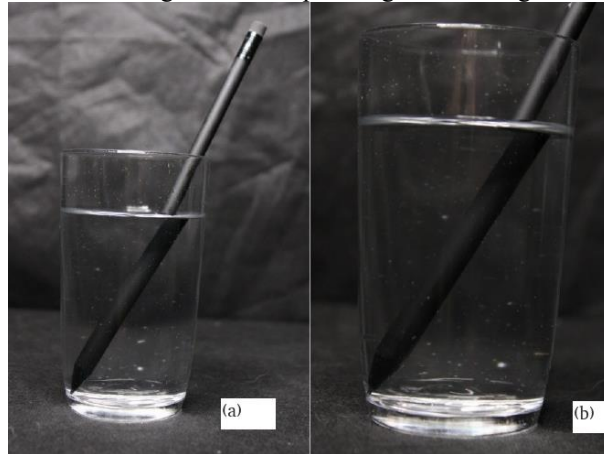
Água;

1 lápis.

b) Metodologia

Este experimento é muito simples, basta encher um copo de vidro transparente com água e mergulhar o lápis dentro do copo. O fenômeno pode ser observado a olho nu e está ilustrado nas Figuras 20 (a) e (b).

Figuras 20 - Lápis mergulhado na água.



Fonte: Próprio autor

O fenômeno que observamos na figura 20 é a refração da luz.

### 5.2.2 Conceito envolvido

O conceito envolvido é o de **refração**, que consiste na mudança de direção de um feixe de luz ao passar de um meio para outro onde sua velocidade de propagação é alterada.

### 5.2.3 Proposta para o aprendizado

Observação experimental do fenômeno de refração, de modo a permitir que os alunos interpretem e se apropriem do conceito de refração.

### 5.2.4 Questões

1 – Qual é o fenômeno observado no experimento do objeto de aprendizagem atividade 2? Explique.

**Resposta:** O fenômeno observado refere-se à refração, que é a mudança de direção de um feixe de luz ao passar de um meio para outro onde sua velocidade de propagação é alterada. No caso desse experimento, os raios de luz mudaram sua velocidade e direção de propagação ao cruzar a interface água (que está dentro do copo) e o ar externo. A imagem observada é formada pelos raios de luz que chegaram aos nossos olhos terem sofrido refração na interface

água-ar. Devido à mudança na direção de propagação da luz, tem-se a impressão de que o lápis está quebrado exatamente na interface entre os dois meios.

2 – Observando as figuras 20 (a) e (b), explique por que temos a impressão visual de que o lápis está “quebrado”. Qual o fenômeno que ocorre? Lembrando que o lápis está mergulhado em água.

**Resposta:** O lápis parece quebrado porque o índice de refração da água é maior (velocidade menor) do que o índice de refração do ar (velocidade maior). O fenômeno que ocorre é o da refração.

3 – Sabemos que os índios são bons pescadores usando flecha-arpão. Explique, usando a óptica, como eles acertam o peixe ao lançar a flecha-arpão.

**Resposta:** Antes de lançar a flecha-arpão eles miram em uma posição mais abaixo de onde o peixe se encontra, porque a luz refletida pelo peixe sofre um desvio – refrata – fazendo com que o peixe pareça estar mais perto da superfície do que realmente se encontra. Portanto, é necessário fazer um ajuste e mirar mais abaixo da posição que o peixe é visto pelo observador.

4 – **(PUC-MG)** Suponha que não houvesse atmosfera na Terra. Nesse caso, é correto afirmar que veríamos:

- a) o Sol nascer mais cedo no horizonte
- b) o Sol se pôr mais cedo no horizonte.
- c) o nascer e o pôr do sol mais tarde.
- d) o nascer e o pôr do sol no mesmo horário como se houvesse atmosfera.
- e) n.d.a

**Resposta: B**

Devido ao efeito de refração da luz solar na atmosfera do planeta, conseguimos ver o sol por mais tempo. Caso não houvesse atmosfera, não haveria o fenômeno da refração e, portanto, o sol permaneceria visível por menos tempo no horizonte.

### 5.3 Atividade 3 – Investigando os processos de propagação da luz em meios diferentes

Objetivo: Entender os processos de reflexão e refração da luz ao encontrar um meio com índice de refração diferente.

### 5.3.1 Descrição do objeto de aprendizagem

Esta atividade experimental tem a finalidade de mostrar alguns conceitos da óptica geométrica: refração e reflexão em mais de um meio de propagação.

Faremos dois experimentos, assim poderemos observar a propagação da luz em vários meios.

No primeiro experimento os materiais utilizados compreendem:

1 copo de vidro transparente;

Água;

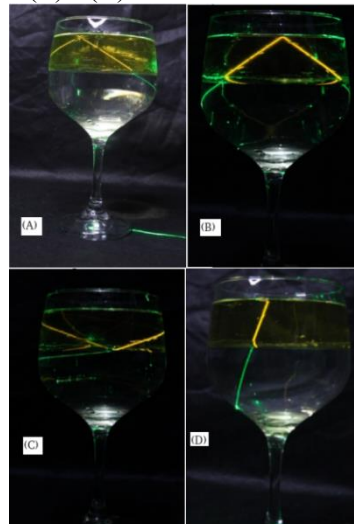
Óleo;

1 ponteira laser.

Colocaremos a água e o óleo em porções iguais dentro de um copo transparente. O ideal é encher bem o copo. Em seguida, apontamos o laser em diversos ângulos, de modo que a luz incidente passe pelos dois meios

A Figura 21 (A-D) ilustra os fenômenos observados.

Figuras 21 - Laser incidido de baixo para cima (A) e (B) em um copo de água que contém água e óleo. Nas Figuras (C) e (D) o laser está incidido de cima para baixo.



Fonte: Próprio autor

Observamos aqui os fenômenos de reflexão e refração na interface entre os dois meios formados por água (parte inferior do copo) e óleo (parte superior do copo). O índice de



refração da água é de 1.33 enquanto que do óleo é de aproximadamente 1.47 (N. JORGE et al 2005).

No segundo experimento usaremos:

1 copo de vidro transparente;

Água;

Álcool;

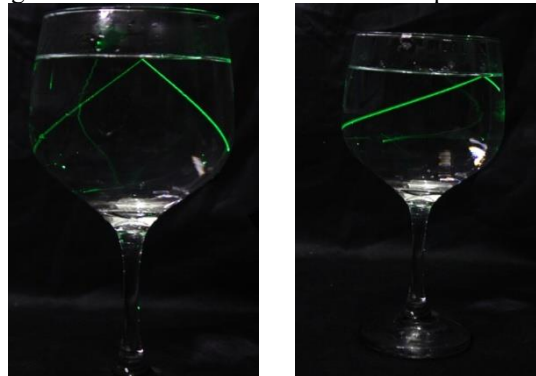
1 ponteira laser.

Colocaremos a água e o álcool em porções iguais dentro do copo, o ideal é encher o copo.

Depois apontamos o laser em diversos ângulos, de modo que a luz incidente passe pelos dois meios, neste caso a água e o álcool.

Faremos então a observação dos fenômenos que se manifestam.

Figuras 22 e 23 - Laser incidido de baixo para cima.



Fonte: Próprio autor

Figura 24 - Laser incidido de cima para baixo.



Fonte: Próprio autor

Observamos aqui os fenômenos de reflexão e refração nos meios de água e álcool.

No terceiro experimento usaremos:

1 copo de vidro transparente;

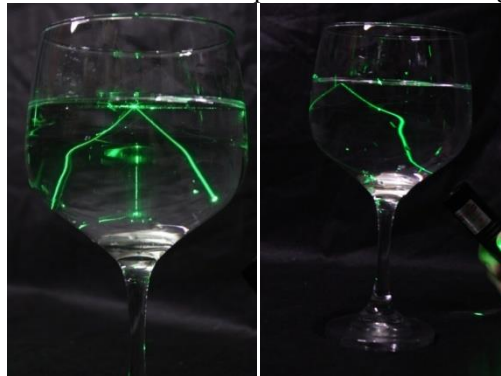
Água;  
Glicerina;  
1 ponteira laser.

Colocaremos a água e a glicerina em porções iguais, o ideal é encher o copo.

Depois apontamos o laser em diversos ângulos, de modo que a luz incidente passe pelos dois meios, neste caso a água e a glicerina. O índice de refração da glicerina é igual a 1.47 (HOYT, 1934).

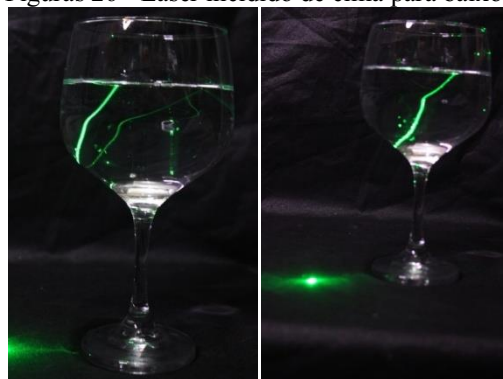
Faremos então a observação dos fenômenos que se manifestam, registrados nas Figuras 25 e 26.

Figuras 25- Laser incidido de baixo para cima no sistema água e glicerina.



Fonte: Próprio autor

Figuras 26 - Laser incidido de cima para baixo.



Fonte: Próprio autor

Observamos aqui os fenômenos de reflexão e refração da luz na interface dos meios água e glicerina.

### 5.3.2 Conceitos envolvidos

Os conceitos envolvidos são a reflexão e a refração da luz.

### 5.3.3 Proposta para o aprendizado

Realizar os experimentos, observar os fenômenos ocorridos e, através do registro das observações, compreender os fenômenos de refração e reflexão.

### 5.3.4 Questões

1 – Quais são os fenômenos observados nos experimentos do objeto de aprendizagem atividade 3? Explique cada um deles

**Resposta: Refração:** é a mudança de direção de um feixe de luz ao passar de um meio para outro onde sua velocidade de propagação é alterada.

**Reflexão:** Quando a luz incide em uma interface de separação dos dois meios, uma parcela da luz é refletida ao meio inicial de propagação.

2 – No primeiro experimento da atividade 3, existe uma situação na qual a luz atravessa do óleo para a água (ver figura abaixo). Com base no resultado experimental, que mostra o raio refratado se afastando da normal, discuta se o índice de refração da água deve ser maior, menor ou igual ao índice de refração do óleo.

Figura 21 c



**Resposta:** Quando o raio refratado se afasta da normal, ao passar do meio 1 (óleo) para o meio 2 (água), a velocidade de propagação da luz no meio 2 será maior que no meio 1. O índice de refração do meio 2 será menor que o índice de refração do meio 1.

3 – Observando a figura abaixo e considerando meio 1 como óleo (parte superior do copo) e meio 2 como água (parte inferior do copo), responda verdadeiro (V) ou falso (F).



- (F) Não há reflexão.
- (F) Não há refração.
- (V) Há reflexão e refração.
- (F) Há reflexão total.
- (F) O raio refratado se aproxima da normal.
- (V) A velocidade de propagação da luz no meio 2 será maior que no meio 1.
- (F) A velocidade de propagação da luz no meio 2 será menor que no meio 1.
- (V) O índice de refração do meio 2 será menor que o índice de refração do meio 1.
- (V) O meio 1 é mais refringente que o meio 2, ou seja, apresenta maior índice de refração.
- (F) O meio 2 é mais refringente que o meio 1, ou seja, apresenta maior índice de refração.

4 – Observe as figuras abaixo. Compare cada uma delas em relação aos fenômenos de reflexão e refração, lembrando que o líquido nas duas situações é o mesmo.



Figura 1



Figura 2

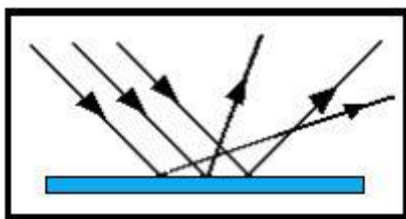
**Resposta:** Na figura 1 observa-se ausência de reflexão (laser incidido de cima para baixo). Isso permite supor que a luz esteja atravessando um meio material homogêneo. Na figura 2, a luz proveniente do ponteiro laser atravessa o líquido de baixo para cima. Na fronteira entre o líquido e o ar ocorre o fenômeno de reflexão.

5 – Um professor leva seus alunos para o laboratório e propõe um experimento. Na bancada há um copo com o que parece ser um líquido incolor e transparente e um ponteira laser. O experimento consiste em passar a luz do laser no meio líquido, de cima para baixo. O resultado pode ser visto na figura abaixo. Quais as conclusões que podem ser tiradas desse experimento?



**Resposta:** A observação da refração permite localizar a existência de uma interface de separação, ou seja, a existência de dois meios. Desta forma, o sistema é na realidade constituído por dois líquidos diferentes. Pode-se afirmar que o sistema é formado por dois meios diferentes, que de cima para baixo iremos chamar de meio 1 e meio 2. Podemos concluir também que a velocidade de propagação da luz no meio 2 será menor que no meio 1 e, portanto, o índice de refração do meio 2 deve ser maior do que o índice de refração do meio 1, porque o raio refratado está mais perto da normal.

6 – (UFAL) A figura representa um feixe de raios paralelos incidentes em uma superfície S e os correspondentes raios emergentes:



Essa figura ilustra o fenômeno óptico da:

- a) dispersão.
- b) reflexão difusa.
- c) refração.
- d) difração.

e) Reflexão regular.

### **Resposta B**

No caso da superfície atingida ser irregular, apresentando rugosidades, a reflexão será chamada difusa, com os raios de luz refletidos em diferentes direções.

7 – (IFSC) Com base nos princípios da óptica geométrica, analise as alternativas abaixo.

- I. Na reflexão, o raio incidente e o raio refletido estão contidos no mesmo plano que a reta normal, portanto são congruentes.
  - II. Quando a luz incide numa fronteira separadora de dois meios, pode sofrer reflexão, absorção e refração.
  - III. Ao observarmos uma pessoa através de um espelho plano, também seremos vistos por ela. Este fenômeno é descrito pelo Princípio da Independência dos Raios Luminosos.
  - IV. A faixa de frequência de ondas capaz de sensibilizar o olho humano é denominada de espelho visível.
  - V. Podemos considerar que a “sombra” de uma nuvem projetada sobre o solo é do mesmo tamanho da própria nuvem, devido aos raios solares serem aproximadamente paralelos.
- É correto dizer que
- a) apenas II, IV e V são verdadeiras
  - b) apenas II e III são verdadeiras
  - c) apenas III e V são verdadeiras
  - d) apenas I, II e IV são verdadeiras
  - e) apenas III e IV são verdadeiras

### **Resposta A**

- I. Falsa. Os raios refletidos, incidentes e a normal são coplanares.
- II. Verdadeira.
- III. Falsa. Trata-se do princípio de reversibilidade da luz.
- IV. Verdadeira
- V. Verdadeira

8 – (UFRR) As fibras ópticas são fios extremamente finos, flexíveis e transparentes. São constituídas geralmente por náilon ou vidro. Quando um sinal luminoso é lançado nesses fios,

a luz percorrerá a estrutura com velocidade próxima à que desenvolve no vácuo e, ao se chocar com a superfície de separação vidro/ar, não sofrerá refração, pois, o ângulo de incidência do raio de luz será sempre superior ao do ângulo limite, devido à espessura mínima do fio. Como consequência, haverá o fenômeno indicado corretamente na alternativa:

- a) difusão;
- b) interferência;
- c) dispersão;
- d) refração;
- e) reflexão total.

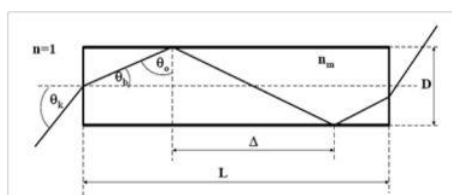
### Resposta E

Para que ocorra a reflexão total, na superfície que separa um meio mais refringente de outro meio com menor índice de refração, a luz precisa incidir com um ângulo maior do que o ângulo crítico.

**9 – (Unirg-TO)** A fibra óptica é um filamento extremamente fino e flexível, feito de vidro, plástico ou outro isolante elétrico, muito utilizada nos exames médicos (endoscopias) ou nas telecomunicações, entre outras aplicações possíveis. A luz que incide em uma das extremidades de uma fibra óptica percorre seu interior como representado na figura a seguir.



O princípio físico de funcionamento de uma fibra óptica está representado no esquema a seguir. Nele, o retângulo representa a fibra óptica e os segmentos de reta indicam um feixe de luz, que, a partir do ar no lado esquerdo da fibra, incide sobre sua extremidade, percorre seu interior e sai na extremidade direita.



Nesse esquema, são observados os seguintes fenômenos ópticos:

- a) difração e reflexão total.
- b) difração e interferência.
- c) refração e reflexão total.
- d) refração e interferência.

### **Resposta C**

Assim que a luz entra na fibra óptica ocorre uma mudança de meio, sofrendo refração. No interior da fibra óptica a luz se propaga por reflexão total.

## **5.4 Atividade 4 – Simulador PhET – Óptica geométrica**

Objetivo: Deduzir por meio de simulações a lei de Snell

### **5.4.1 Descrição do objeto de aprendizagem**

Utilizaremos o objeto de aprendizagem (OA) denominado “desvio da luz”, que foi selecionado no simulador PhET (Physics Education Technology), encontrado no link:

[https://phet.colorado.edu/sims/html/bending-light/latest/bending-light\\_pt\\_BR.html](https://phet.colorado.edu/sims/html/bending-light/latest/bending-light_pt_BR.html)

Esse OA, através de um ambiente virtual, simula a incidência de luz em meios diferentes.

Encontraremos 3 possibilidades de experimentação. A primeira possibilidade é o experimento denominado “Introdução”, que conforme o próprio nome servirá para familiarizar os alunos com os recursos disponibilizados. Neste simulador podemos trabalhar com dois meios distintos. No lado direito, encontraremos duas caixas com especificações de material para ser usado como meio. Além do índice de refração desse material, temos um laser, que pode ser movimentado em diferentes ângulos, uma caixa do lado esquerdo superior, onde podemos escolher entre raio de luz e onda – no nosso caso trabalharemos com raio. No lado esquerdo inferior temos uma caixa com os recursos de um transferidor e um medidor de intensidade.

A segunda possibilidade é o experimento “Prisma”, onde também temos um laser, que pode ser de um ou vários feixes de luz e também um feixe de luz branca. Há também uma caixa com recursos de objetos de diversas formas e diversos materiais, como um prisma, entre outros. Podemos também controlar o comprimento de onda e o meio em que vamos ambientar o experimento.



A terceira possibilidade é o experimento “Mais ferramentas”. Basicamente é igual ao experimento de introdução, acrescentado da possibilidade de manipularmos o comprimento de onda, utilizarmos mais dois aparelhos de medição e medirmos o ângulo refração e reflexão dos raios de luz.

#### 5.4.2 Conceitos envolvidos

Os conceitos envolvidos são a reflexão e a refração da luz.

A partir dos dados obtidos será possível obter a lei de Snell.

**Lei de Snell:**  $\frac{\sin\theta_2}{\sin\theta_1} = \frac{n_1}{n_2}$  ou ainda  $n_1 \cdot \sin\theta_1 = n_2 \cdot \sin\theta_2$

Onde  $n_1$  é o índice de refração do meio 1,  $n_2$  é o índice de refração do meio 2, e os ângulos de incidência e refração da luz.

#### 5.4.3 Proposta para o aprendizado

Para familiarizar o aluno com as ferramentas envolvidas começaremos pelo simulador “introdução”, onde faremos simulações com diferentes ângulos e materiais em meios diferentes.

Atividade de simulação 1

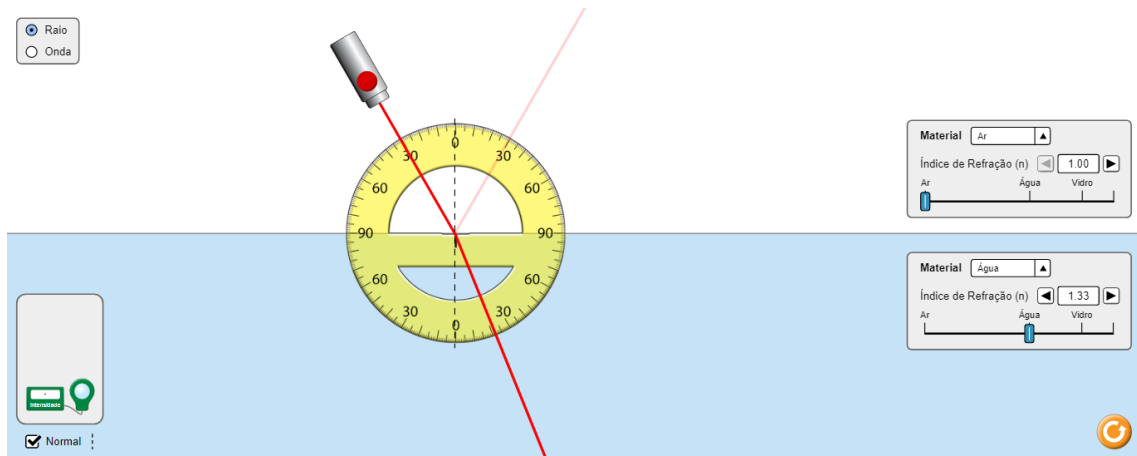
O simulador nos dá várias possibilidades, por esse motivo iremos limitar da seguinte maneira:

- Usaremos o simulador na forma de raio de luz;
- Simulação em dois meios: ar/água e ar/vidro;
- Usaremos o transferidor;
- Com indicação da Normal;
- Fixaremos o índice de refração ( $n$ ) para o **ar** em 1.00, para a **água** em 1.33 e para o **vidro** em 1.50;
- Utilizaremos os ângulos de 30°, 45° e 60°.

O objetivo é encontrar os ângulos de reflexão e refração para os meios e os ângulos indicados.

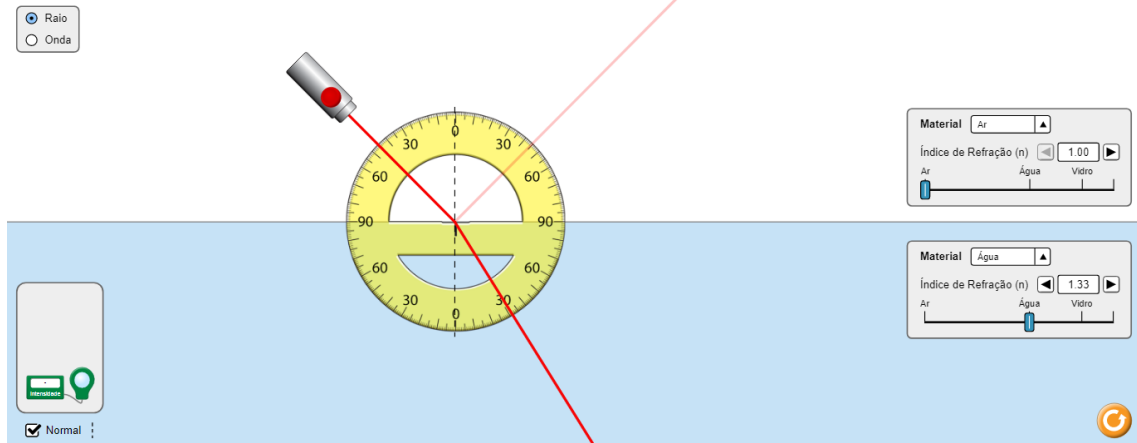
Simulação nos meios ar e água:

Figura 27 – Simulação para incidência de luz em  $30^\circ$  ar/água



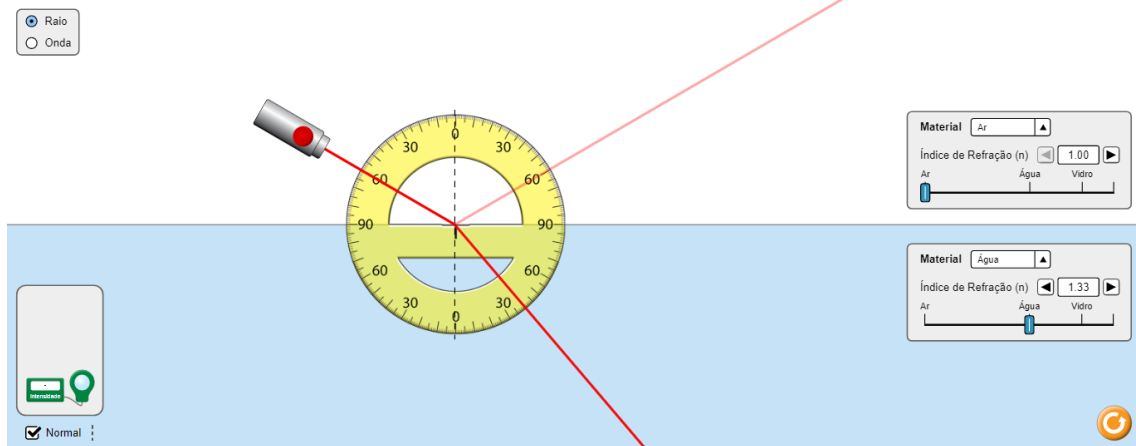
Fonte: [https://phet.colorado.edu/sims/html/bending-light/latest/bending-light\\_pt\\_BR.html](https://phet.colorado.edu/sims/html/bending-light/latest/bending-light_pt_BR.html)

Figura 28 – Simulação para incidência de luz em  $45^\circ$  ar/água



Fonte: [https://phet.colorado.edu/sims/html/bending-light/latest/bending-light\\_pt\\_BR.html](https://phet.colorado.edu/sims/html/bending-light/latest/bending-light_pt_BR.html)

Figura 29 – Simulação para incidência de luz em  $60^\circ$  ar/água



Fonte: [https://phet.colorado.edu/sims/html/bending-light/latest/bending-light\\_pt\\_BR.html](https://phet.colorado.edu/sims/html/bending-light/latest/bending-light_pt_BR.html)

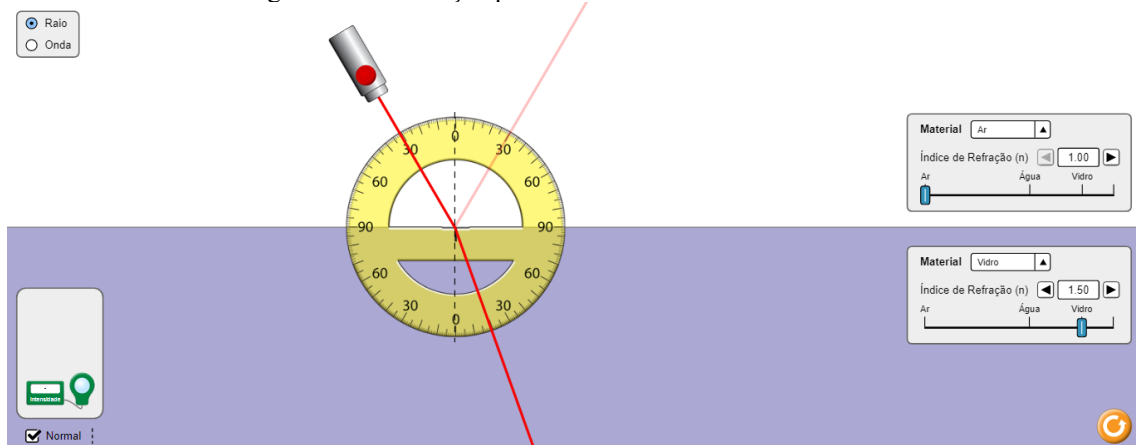
Faremos uso de uma tabela para essa atividade.

Tabela 2 – Ângulos de reflexão e refração para os meios ar/água

Ângulo de incidência	Ângulo refletido	Ângulo refratado
$30^\circ$	$30^\circ$	$22^\circ$
$45^\circ$	$45^\circ$	$30^\circ$
$60^\circ$	$60^\circ$	$40^\circ$

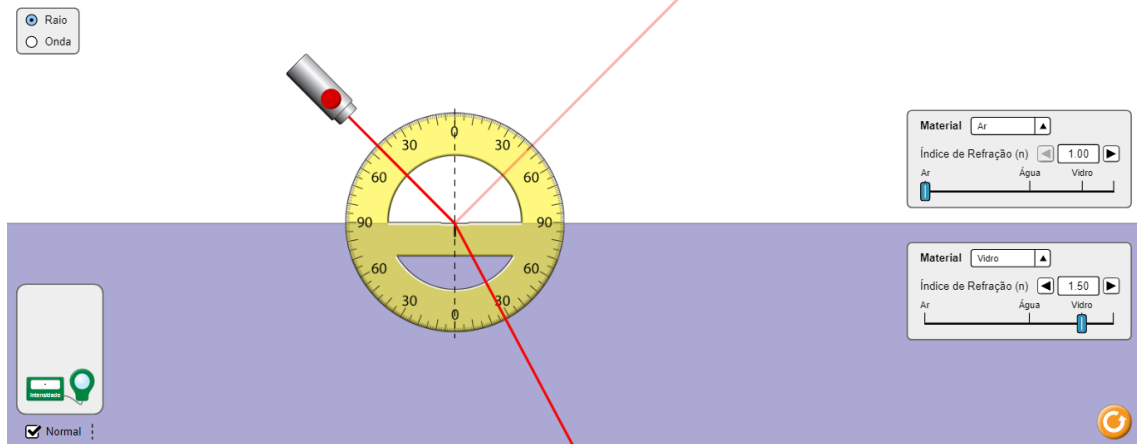
Simulação nos meios ar e vidro:

Figura 30 – Simulação para incidência de luz em  $30^\circ$  ar/vidro



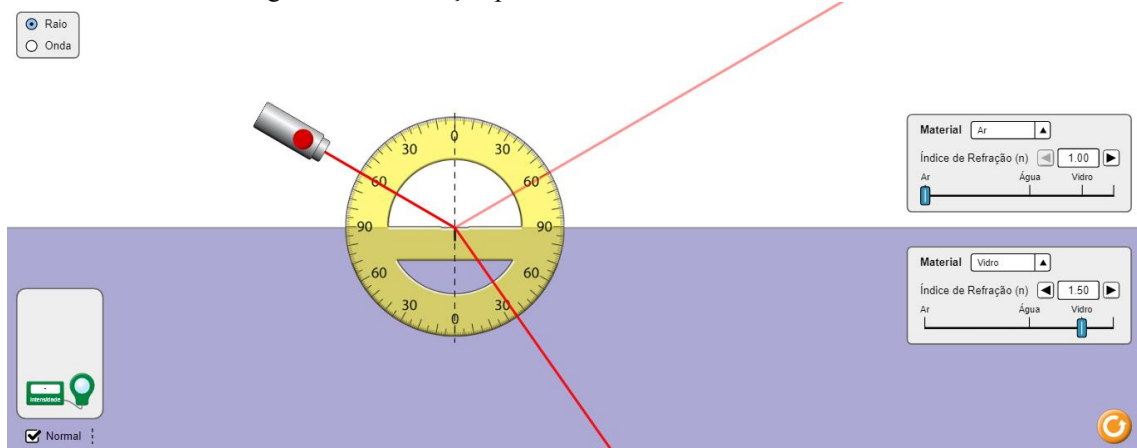
Fonte: [https://phet.colorado.edu/sims/html/bending-light/latest/bending-light\\_pt\\_BR.html](https://phet.colorado.edu/sims/html/bending-light/latest/bending-light_pt_BR.html)

Figura 31 – Simulação para incidência de luz em 45° ar/vidro



Fonte: [https://phet.colorado.edu/sims/html/bending-light/latest/bending-light\\_pt\\_BR.html](https://phet.colorado.edu/sims/html/bending-light/latest/bending-light_pt_BR.html)

Figura 32 – Simulação para incidência de luz em 60° ar/vidro



Fonte: [https://phet.colorado.edu/sims/html/bending-light/latest/bending-light\\_pt\\_BR.html](https://phet.colorado.edu/sims/html/bending-light/latest/bending-light_pt_BR.html)

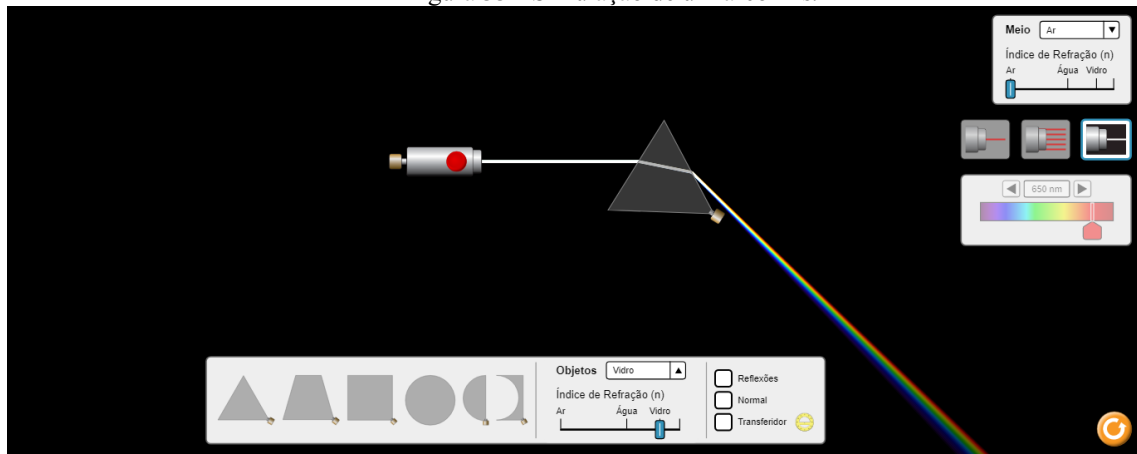
Tabela 3 – Ângulos de reflexão e refração para os meios ar/vidro

Ângulo de incidência	Ângulo refletido	Ângulo refratado
30°	30°	20°
45°	45°	29°
60°	60°	35°

Atividade de simulação 2

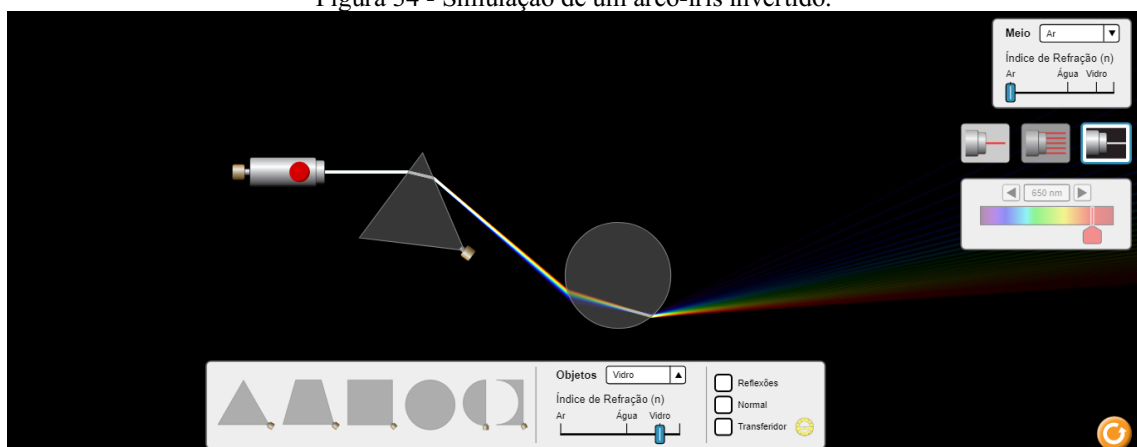
Em seguida usaremos o simulador “Prisma”. Para essa atividade iremos propor um desafio. Usando o simulador, sem indicar quais ferramentas, desafiaremos os alunos a simular um arco-íris e um arco-íris invertido. A intenção é que os alunos tentem, e assim, passem por várias situações até que consigam formar os dois arco-íris.

Figura 33 - Simulação de um arco-íris.



Fonte: [https://phet.colorado.edu/sims/html/bending-light/latest/bending-light\\_pt\\_BR.html](https://phet.colorado.edu/sims/html/bending-light/latest/bending-light_pt_BR.html)

Figura 34 - Simulação de um arco-íris invertido.



Fonte: [https://phet.colorado.edu/sims/html/bending-light/latest/bending-light\\_pt\\_BR.html](https://phet.colorado.edu/sims/html/bending-light/latest/bending-light_pt_BR.html)

Após o desafio levantaremos as seguintes questões:

1 – Como é formado um arco-íris?

**Resposta:** O arco-íris se forma com a separação das cores da luz solar, ao atravessar gotículas de água presentes na atmosfera.

Normalmente é observado após uma chuva (mas pode acontecer durante a chuva se houver luz solar), pois a atmosfera fica com gotículas de água que a luz solar atravessa e os

raios são refratados. A luz solar é branca, portanto policromática (formada por várias cores). A luz refratada sofre dispersão, formando o arco-íris.

2 – Levando em conta a simulação da figura 41, por que podemos comparar o resultado com o arco-íris?

**Resposta:** Porque o princípio é o mesmo: luz branca (policromática), ao atravessar um objeto transparente – neste caso um prisma – sofre dispersão.

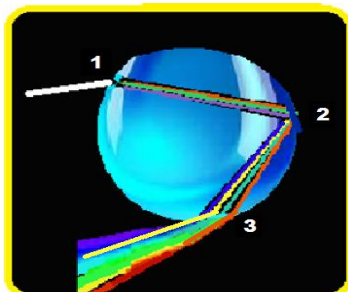
3 - Quais fenômenos são observados na nossa simulação? Explique cada um.

**Resposta:** observamos refração e dispersão.

Refração é a mudança de direção de um feixe de luz ao passar de um meio para outro onde sua velocidade de propagação é alterada.

Dispersão da luz é um fenômeno óptico que decompõe a luz em diferentes cores, ou seja, separa a luz em vários componentes do espectro visível.

4 – (VUNESP) A figura representa, esquematicamente, a trajetória de um feixe de luz branca atravessando uma gota de água. É dessa forma que se origina o arco-íris.



a) Que fenômenos ópticos ocorrem nos pontos 1, 2 e 3?

b) Em que ponto, ou pontos, a luz branca se decompõe, e por que isso ocorre?

c) Em que posição, em relação ao Sol deve estar o observador para que ele veja o arco-íris?

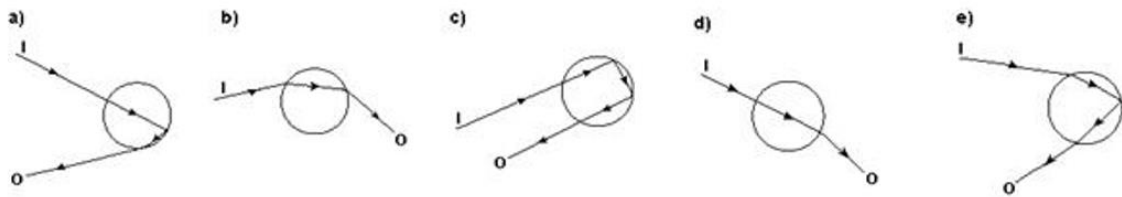
**Resposta:** a) Ponto 1: refração; ponto 2: reflexão e ponto 3: refração.

b) Entre os pontos 1 e 2 e os pontos 2 e 3 ocorre dispersão, pois o índice de refração da água é diferente para cada frequência de luz, o que provoca desvios diferentes.

c) O sol tem que estar nas costas do observador.

5 – (UNIFESP-SP) O arco-íris resulta da dispersão da luz do Sol quando incide nas gotas praticamente esféricas da água da chuva. Assinale a alternativa que melhor representa a trajetória de um raio de luz em uma gota de água na condição em que ocorre o arco-íris (I

indica o raio incidente, vindo do Sol, o círculo representa a gota e **O** indica a posição do observador).



## Resposta E

### Atividade de simulação 3

A simulação 2 utilizará a janela “Mais ferramentas”. Nesta simulação avaliaremos o comportamento da luz ao encontrar ou passar por diferentes meios.

Escolheremos usar a forma que nos mostra os ângulos do feixe de luz incidente, refletido e refratado.

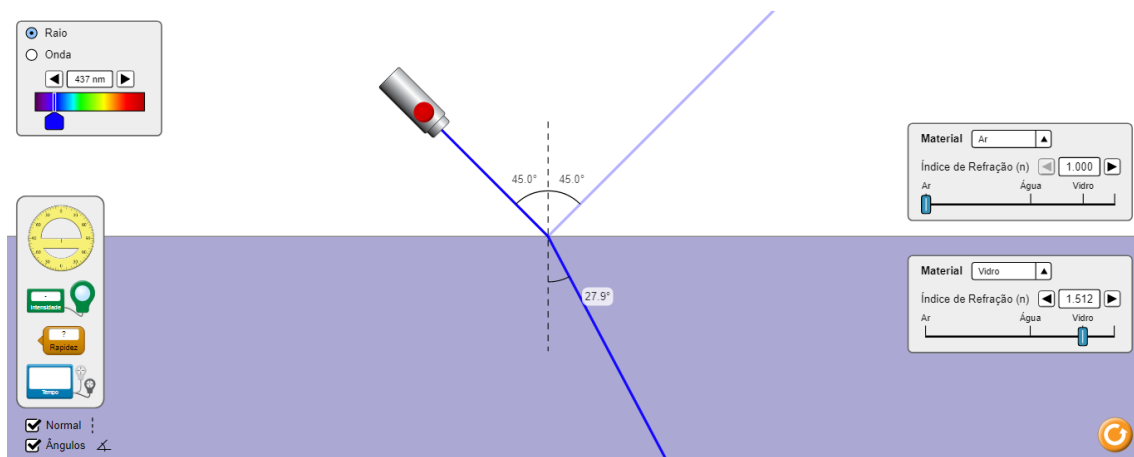
Os meios escolhidos para a simulação são: ar para o meio 1 e vidro para o meio 2.

Fixaremos o comprimento de onda em 437 nm.

O objetivo é comparar o coeficiente angular da reta com a razão dos índices de refração do meio 1 (ar) e do meio 2 (vidro) fornecidos na simulação.

- Construa uma tabela dos valores do seno do ângulo incidente ( $\sin\theta_1$ ) e do ângulo de refração ( $\sin\theta_2$ ) e depois faça um gráfico com os valores obtidos (seno do ângulo incidente X seno do ângulo refratado).
- Determine o coeficiente angular da reta.
- Compare o coeficiente angular da reta com a razão  $n_{\text{ar}}/n_{\text{vidro}}$  (Lei de Snell)

Figura 35 – Exemplo de simulação

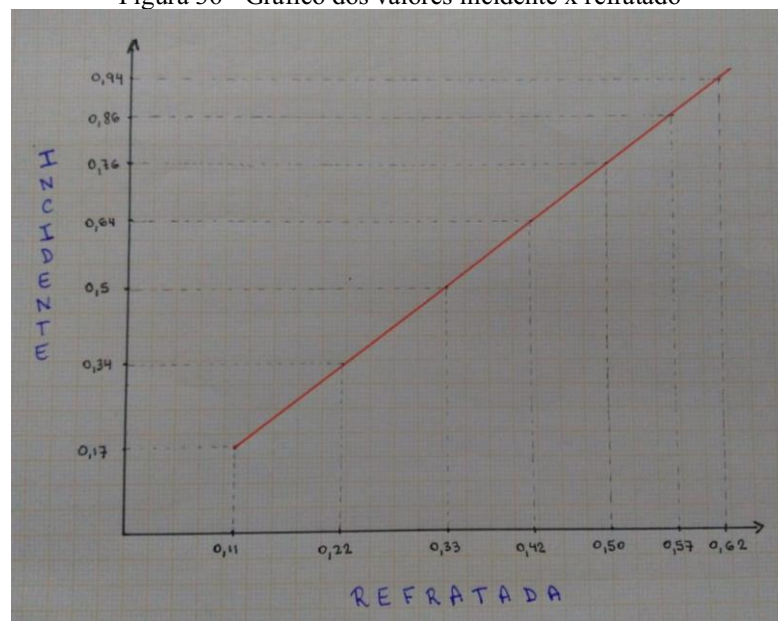


Fonte: [https://phet.colorado.edu/sims/html/bending-light/latest/bending-light\\_pt\\_BR.html](https://phet.colorado.edu/sims/html/bending-light/latest/bending-light_pt_BR.html)

a) Tabela 4 – Exemplo de valores obtidos na simulação.

$\theta_1$ (incidente – ar)	$\text{Sen}\theta_1$	$\theta_2$ (refratado - vidro)	$\text{Sen}\theta_2$
10°	0,17	6.6°	0,11
20°	0,34	13.1°	0,22
30°	0,5	19.5°	0,33
40°	0,64	25.2°	0,42
50°	0,76	30.5°	0,5
60°	0,86	35°	0,57
70°	0,94	38.4°	0,62

Figura 36 - Gráfico dos valores incidente x refratado



Fonte: Próprio autor

B) Coeficiente angular da reta.

Usando os pontos (0,17; 0,11) e (0,94; 0,62)

$$m(x - x_0) = (y - y_0)$$

$$m(0,94 - 0,17) = (0,62 - 0,11)$$

$$m = \frac{0,51}{0,77} = 0,66$$



C) Compare o coeficiente angular da reta com a razão  $n_{\text{ar}}/n_{\text{vidro}}$  (Lei de Snell)

$$n_{\text{ar}} = 1000$$

$$n_{\text{vidro}} = 1512$$

$$m = 0,66$$

$$\text{usando a razão } n(\text{ar})/n(\text{vidro}) = \frac{1000}{1512} = 0,66$$

O coeficiente angular é igual a razão entre os índices de refração.

#### Atividade de simulação 4

Ainda usando o simulador “Mais Ferramentas” proporemos mais uma atividade.

Nesta atividade avaliaremos a dependência do comprimento de luz ao encontrar ou passar por diferentes meios.

Escolhemos usar a forma que nos mostra os ângulos do feixe de luz incidente, refletido e refratado.

Escolher os meios:

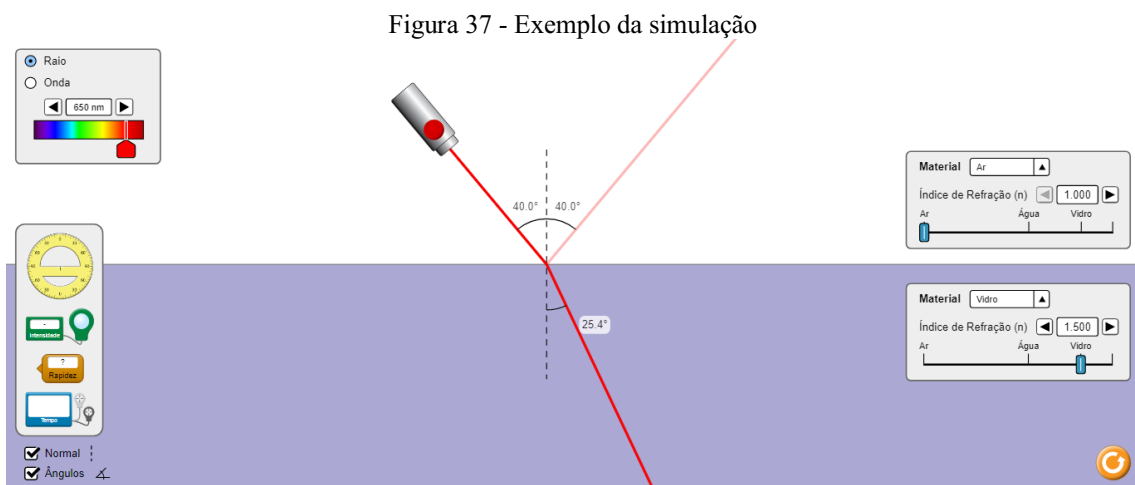
- AR/VIDRO, ar para o meio 1 e vidro para o meio 2;

- AR/ÁGUA, ar para o meio 1 e água para o meio 2.

Fixar o ângulo de incidência em  $40^\circ$ .

Variar o comprimento de onda da luz incidente na faixa entre 700 nm e 400 nm.

O objetivo é avaliar a dependência do ângulo e do índice de refração com o comprimento de onda da luz para diferentes meios.



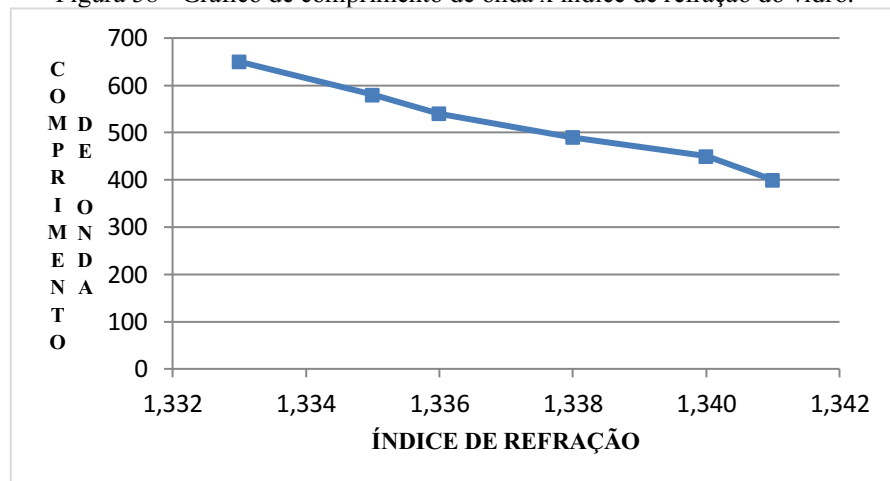
Fonte: [https://phet.colorado.edu/sims/html/bending-light/latest/bending-light\\_pt\\_BR.html](https://phet.colorado.edu/sims/html/bending-light/latest/bending-light_pt_BR.html)

1) Selecione um comprimento de onda para cada uma das cores no espectro visível e construa uma tabela dos valores dos comprimentos de onda, ângulo e índice de refração considerando os meios AR/VIDRO e AR/ÁGUA. Fazer os gráficos comprimento de onda x índice de refração do vidro e comprimento de onda x índice de refração da água.

Tabela 5 – Exemplo de valores obtidos na simulação.

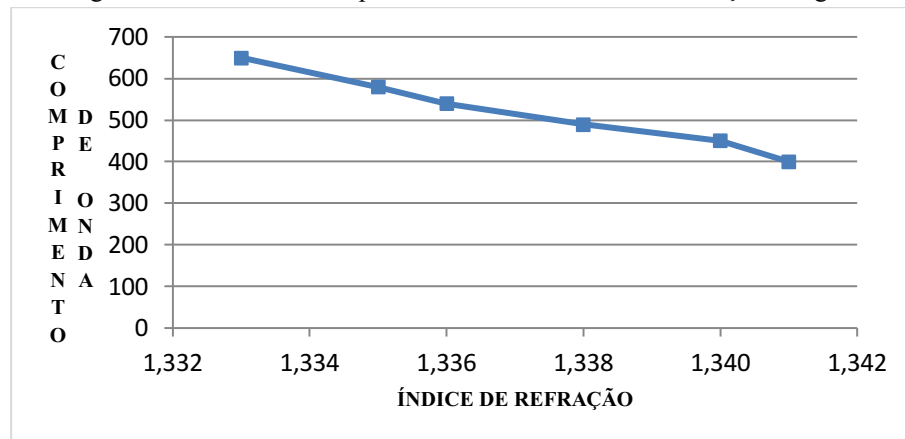
Comprimento de onda (nm)	Vidro		Água	
	$\theta_2$	$n_2$	$\theta_2$	$n_2$
650	25,4°	1.500	28,8°	1.333
580	25,3°	1.503	28,8°	1.335
540	25,3°	1.504	28,8°	1.336
490	25,2°	1.507	28,7°	1.338
450	25,2°	1.510	28,7°	1.340
400	25,1°	1.516	28,6°	1.341

Figura 38 - Gráfico de comprimento de onda x índice de refração do vidro.



Fonte: próprio autor

Figura 39 - Gráfico de comprimento de onda x índice de refração da água.



Fonte: próprio autor

Observa-se que quanto menor o comprimento de onda, maior o índice de refração do meio atravessado pela luz.

2) Usando o mesmo simulador do exercício 1, selecione as seguintes opções de material para o meio 1 e meio 2 e diga se ocorre o fenômeno de reflexão total. Escolha o comprimento de onda de luz incidente igual a 600 nm e varie o ângulo do feixe de luz incidente entre  $0^\circ$  e  $90^\circ$ . Caso a reflexão total ocorra, determine a faixa de ângulo de incidência em que esse fenômeno pode ser observado.

(Meio 1/Meio 2)

a) Ar/Água

b) Água/Ar

c) Vidro/Ar

d) Vidro/Água

e) Para cada uma das situações acima, usando a Lei de Snell, calcule o ângulo crítico a partir do qual ocorre a reflexão total para as combinações de materiais descritas nos itens a, b, c e d. Compare os valores de ângulo crítico calculado com a faixa de valores de  $\theta$  obtidos nas opções acima.

a) Não há reflexão total.

$$n_1 = 1.000$$

$$n_2 = 1.334$$

b) A reflexão total ocorre quando  $\theta = 48,6^\circ$

$$n_1 = 1.334$$

$$n_2 = 1.000$$

c) A reflexão total ocorre quando  $\theta = 41,8^\circ$

$$n_1 = 1.502$$

$$n_2 = 1.000$$

d) A reflexão total ocorre quando  $\theta = 62,7^\circ$

$$n_1 = 1.502$$

$$n_2 = 1.000$$

e) Usando  $\sin \theta_c = n_2/n_1$  para:

- Item a: Não há reflexão total.

O  $n_1$  é menor que  $n_2$ .

- Item b:  $\sin \theta_c = n_2/n_1$

$$\sin \theta_c = 1.000/1.334$$

$$\theta_c = 48,55^\circ \cong 48,6^\circ$$

Podemos dizer que o ângulo de reflexão total é igual ao ângulo crítico.

$$\theta_c = \theta$$

- Item c:  $\sin \theta_c = n_2/n_1$

$$\sin \theta_c = 1.000/1502$$

$$\theta_c = 41,74^\circ \cong 41,8^\circ$$

Podemos dizer que o ângulo de reflexão total é igual ao ângulo crítico.

$$\theta_c = \theta$$

- Item d:  $\sin \theta_c = n_2/n_1$

$$\sin \theta_c = 1.334/1.502$$

$$\theta_c = 62,64^\circ \cong 62,7^\circ$$

Podemos dizer que o ângulo de reflexão total é igual ao ângulo crítico.

$$\theta_c = \theta$$

#### 5.4.4 Questões

1 – (UFRS 2012) Um estudante, para determinar a velocidade da luz num bloco de acrílico, fez incidir um feixe de luz sobre o bloco. Os ângulos de incidência e refração foram, respectivamente,  $45^\circ$  e  $30^\circ$ .

$$\text{Dados: } \sin 30^\circ = \frac{1}{2}; \sin 45^\circ = \frac{\sqrt{2}}{2}$$

Sendo  $c$  a velocidade de propagação da luz no ar, o valor obtido para a velocidade de propagação da luz no bloco é

- a)  $\frac{c}{2}$       b)  $\frac{c}{\sqrt{2}}$       c)  $c$       d)  $\sqrt{2} \times c$       e)  $2c$

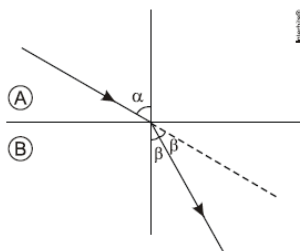
**Resposta: B**

Resolução:

De acordo com a lei de Snell temos:

$$\frac{v_{\text{bloco}}}{v_{\text{ar}}} = \frac{\sin 30^\circ}{\sin 45^\circ} \text{ portanto } \frac{v_{\text{bloco}}}{c} = \frac{\frac{1}{2}}{\frac{\sqrt{2}}{2}} \text{ e } \frac{v_{\text{bloco}}}{c} = \frac{1}{\sqrt{2}} \text{ e então temos que } v_{\text{bloco}} = \frac{c}{\sqrt{2}}$$

2 – (IBMECRJ 2013) Um raio de luz monocromática se propaga do meio A para o meio B, de tal forma que o ângulo de refração  $\beta$  vale a metade do ângulo de incidência  $\alpha$ . Se o índice de refração do meio A vale 1 e o  $\sin \beta = 0,5$ , o índice de refração do meio B vale:



- a)  $\sqrt{2}$

b) 3

c)  $\sqrt{3}$

d) 0,75

e) 0,5

### Resposta C

Resolução:

$\sin\beta = 0,5$  portanto  $\beta = 30^\circ$

Como  $\alpha = 2 \times \beta$  então  $\alpha = 60^\circ$

De acordo com a Lei de Snell temos que  $n_A \times \sin \alpha = n_B \times \sin \beta$

Portanto  $1 \times \frac{\sqrt{3}}{2} = n_B \times \frac{1}{2}$

E então  $n_B = \sqrt{3}$

3 – (PUCRJ-2012) Um feixe luminoso se propagando no ar incide em uma superfície de vidro. Calcule o ângulo que o feixe refratado faz com a normal à superfície sabendo que o ângulo de incidência  $\theta_i$  é de  $60^\circ$  e que os índices de refração do ar e do vidro,  $n_{\text{ar}}$  e  $n_{\text{vidro}}$ , são respectivamente 1,0 e  $\sqrt{3}$ .

a)  $30^\circ$

b)  $45^\circ$

c)  $60^\circ$

d)  $73^\circ$

e)  $90^\circ$

### Resposta A

Resolução:

Denominando como  $r$  o ângulo que o feixe refratado faz com a normal à superfície de vidro temos, pela Lei de Snell:

$n_{\text{ar}} \times \sin \theta_i = n_{\text{vidro}} \times \sin r$  e portanto  $1 \times \sin 60^\circ = \sqrt{3} \times \sin r$

$$1 \times \frac{\sqrt{3}}{2} = \sqrt{3} \times \text{sen } r \text{ e então } \text{sen } r = \frac{1}{2}$$

Portanto o ângulo  $r$  é de  $30^\circ$ .

4 – (PUCRS 2010) Resolver a questão com base nas informações a seguir.

O efeito causado pela incidência da luz solar sobre um vidro, dando origem a um feixe colorido, é conhecido como dispersão da luz branca. Este fenômeno é resultado da refração da luz ao atravessar meios diferentes, no caso, do ar para o vidro. Na superfície de separação entre os dois meios, a luz sofre um desvio em relação à direção original de propagação desde que incida no vidro em uma direção diferente da direção normal à superfície. A tabela a seguir informa os índices de refração de um tipo de vidro para algumas das diferentes cores que compõem a luz branca.

Cor	Índice de refração do vidro relativo ao ar
Vermelho	1,513
Amarelo	1,517
Verde	1,519
Azul	1,528
Violeta	1,532

A partir das informações e da tabela apresentadas, em relação a um raio de luz branca proveniente do ar que incide no vidro, é correto afirmar que

- a) as cores são percebidas porque o vidro apresenta aproximadamente o mesmo índice de refração para todas elas.
- b) há a predominância da luz verde porque o índice de refração do vidro para essa cor aproxima-se da média dos índices para todas as cores.
- c) a luz violeta é a que sofre menor desvio.
- d) a luz vermelha é a que sofre maior desvio.
- e) a luz azul sofre desvio maior do que a luz vermelha.

**Resposta E**

Resolução:

De acordo com a Lei de Snell, para o ângulo de incidência (**i**) e para o ângulo de refração (**r**) temos:

$$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{n_{\text{vidro}}}{n_{\text{ar}}}$$

Então, a luz que apresentar maior desvio, ou seja, menor ângulo de refração será aquela com maior índice de refração, o que neste caso corresponde à cor violeta. A ordem crescente dos desvios será também a ordem crescente dos índices de refração, ou seja Vermelho, Amarelo, Verde, Azul e Violeta.

## 5.5 Atividade 5 – Difração e interferência

Objetivo: visualizar e entender os processos de difração e interferência da luz.

### 5.5.1 Descrição do objeto de aprendizagem

Esta atividade experimental tem a finalidade de mostrar os conceitos de difração e interferência. Para isso usaremos alguns materiais descritos abaixo.

- 1 pedaço de cartolina preta possuindo dimensões de aproximadamente 1,5 cm x 1,5 cm;
- 1 ponteira laser na cor verde;
- 1 agulha de costura;
- Fita adesiva dupla face.
- 1 folha de papel sulfite;

Usando a agulha, furamos a cartolina. É necessário que o furo fique muito pequeno para conseguir o efeito que desejamos.

Depois, com ajuda da fita adesiva, fixamos a cartolina na frente da ponteira laser, de modo a deixar a luz passar pelo furo feito com a agulha na cartolina. A folha de papel sulfite foi fixada na parede.



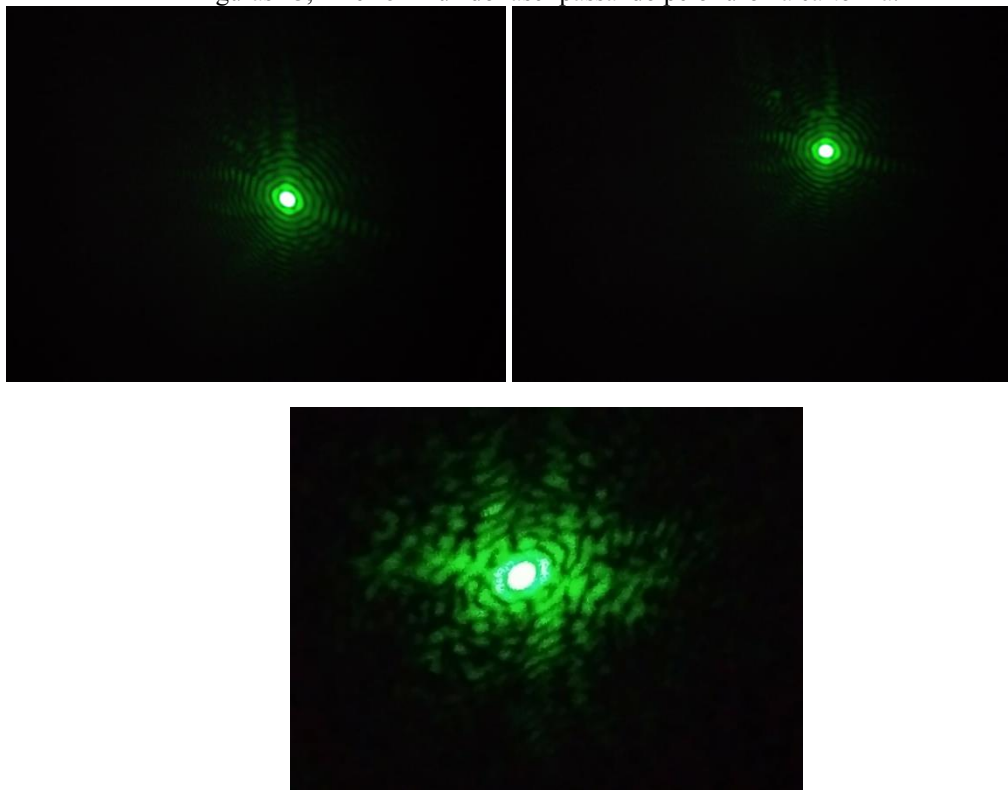
Figuras 40, 41 e 42 –Fotos da ponteira laser e cartolina utilizadas neste trabalho.



Fonte: Próprio autor

Após a montagem, ligamos o laser, apontamos para a folha de sulfite e observamos os fenômenos de interferência e difração. Para conseguir um melhor efeito é recomendável fazer o experimento no escuro.

Figuras 43, 44 e 45 - Luz do laser passando pelo furo na cartolina.



Fonte: Próprio autor

### 5.5.2 Conceitos envolvidos

O conceito envolvido é o da difração e da interferência.

Quando atravessa uma fenda cujas dimensões sejam comparáveis ou menores do que o seu comprimento de onda, a luz sofre um espalhamento em todas as direções à frente da fenda dando origem a uma frente de onda esférica. Podemos imaginar várias frentes de ondas esféricas se originando em diferentes pontos da fenda que irão interagir construtivamente ou destrutivamente na tela de observação que no caso deste trabalho se refere à folha de sulfite. As regiões verdes brilhantes, chamadas de franjas, se referem a interferências construtivas. Por outro lado, as regiões escuras se referem a interferências destrutivas.

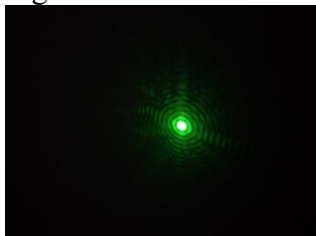
### 5.5.3 Proposta para o aprendizado

A proposta desse objeto de aprendizagem consiste em montar o experimento, observar os fenômenos ocorridos e, através das observações feitas, pretende-se que os alunos sejam capazes de interpretar e explicar os fenômenos observados.

### 5.5.4 Questões

1 – Observando a figura abaixo (figura 43) vemos que há um espalhamento da luz ao passar pela fenda. Qual o nome dado a esse fenômeno e por que ele ocorre?

Figura 43



**Resposta:** O fenômeno é o da difração, que a luz sofre ao atravessar uma fenda cujas dimensões sejam comparáveis ou menores do que seu comprimento de onda, a luz sofre um espalhamento em todas as direções à frente da fenda.

2 – (UNESP-SP) A figura representa esquematicamente as frentes de onda de uma onda reta na superfície da água, propagando-se da região 1 para a região 2. Essas regiões são idênticas e separadas por uma barreira com abertura.

A configuração das frentes de onda observada na região 2, que mostra o que aconteceu com a onda incidente ao passar pela abertura, caracteriza o fenômeno da



- a) absorção.
- b) difração.
- c) dispersão.
- d) polarização.
- e) refração.

**Resposta B**

## **5.6 Atividade 6 – Mapa conceitual**

### **5.6.1 Proposta para o aprendizado**

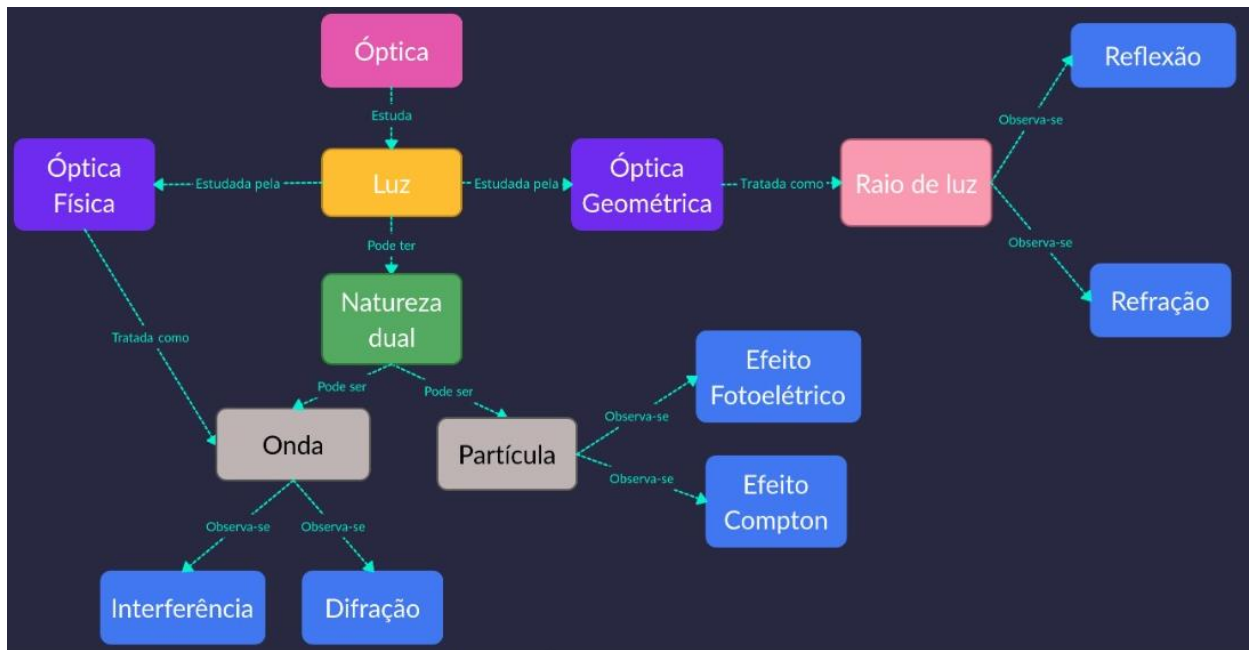
Mapas conceituais são propostos como uma estratégia potencialmente facilitadora de uma aprendizagem significativa. (MOREIRA, 2012)

Lançaremos mão desse recurso para ajudar na compreensão dos conceitos da óptica e em sua divisão.

O professor pode dividir a sala em pequenos grupos e propor, com base nos conhecimentos adquiridos pelos alunos, que eles elaborem um mapa conceitual para o fechamento da matéria.

Abaixo um exemplo de mapa conceitual.

Figura 46 – Exemplo de mapa conceitual sobre os conceitos abordados em óptica.



Fonte: Próprio autor usando o aplicativo Creately disponível em: <https://app.creately.com/>

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho apresentou propostas de sequências didáticas para o ensino de Óptica Física e Óptica Geométrica. Foram propostos experimentos, com materiais de baixo custo, e o desenvolvimento de atividades de simulação computacionais a fim de auxiliar no entendimento e na ilustração dos conceitos abordados. As atividades de experimentação e simulação foram utilizadas na elaboração de um conjunto de sequências didáticas de fácil compreensão. A importância da utilização de atividades experimentais reside no fato de que estas conseguem materializar conceitos que muitas vezes são abstratos e de difícil entendimento, além de despertar a curiosidade dos alunos, estimulando a participação nas aulas. As atividades de simulação com os objetos de aprendizagem disponíveis no repositório do PhET também podem ser utilizadas como uma ferramenta importante no auxílio para o entendimento dos conceitos de óptica. A necessidade de conexão com a internet poderia ser um fator limitante, mas o PhET pode ser utilizado a partir de um aparelho celular. Essa possibilidade facilita o acesso à simulação e ainda permite que vários alunos compartilhem o mesmo aparelho, o que favorece seu uso.

As experimentações feitas no simulador PhET trouxeram diversas possibilidades, que podem ser direcionadas pelo professor, ou simplesmente deixadas a cargo da curiosidade dos

alunos, que podem desenvolver e testar hipóteses ao interagir com o programa.

Com relação à minha formação durante a realização deste trabalho, consegui constatar que os estudos realizados contribuíram significativamente para enriquecer meus conhecimentos, e não apenas sobre os conceitos de óptica, mas também me auxiliaram no planejamento e desenvolvimento de uma aula de forma clara, objetiva e – por que não dizer – divertida. Hoje sinto que “estou mais professora”.

## 7 REFERÊNCIAS

XVI SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA, 2005, Rio de Janeiro. **A IMPORTÂNCIA DE AULAS EXPERIMENTAIS NO PROCESSO ENSINOAPRENDIZAGEM EM FÍSICA: “ELETRICIDADE”** [...]. [S. l.: s. n.], 2005. 4 p. Disponível em: <https://sec.sbfisica.org.br/eventos/snef/xvi/cd/resumos/T0219-3.pdf>. Acesso em: 1 fev. 2021.

ALVES, Vagner Camarini; STACHAK, Marilei. A importância de aulas experimentais no processo ensino aprendizagem em física: “eletricidade”. XVI SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA. 2005.

BATISTA, Michel Corci; FUSINATO, Polônia Altoé; BLINI, Ricardo Brugnolle. Reflexões sobre a importância da experimentação no ensino de física. **Acta Scientiarum. Human and Social Sciences**, [s. l.], v. 31, n. 1, p. 43-49, 2009. DOI 10.4025/actascihumansoc.v31i1.380. Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=307325328006>. Acesso em: 1 fev. 2021.

BORGES, A. T. Novos rumos para o laboratório escolar de ciências. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 19, n. 3, p. 291-313, dez. 2002.

BORGES, G. S. **Análise e Projeto de Filtros Ópticos**. Disponível em: [http://www.lea.ufpa.br/producaocientifica/TCC/TCC\\_Gilvan.pdf](http://www.lea.ufpa.br/producaocientifica/TCC/TCC_Gilvan.pdf) Acesso em: 06 fev.2021.

BRASIL, **Parâmetros Curriculares Nacionais, Ciências da Natureza e Matemática suas tecnologias**. Brasília: MEC, 2000

CADERNO do professor - Física: 2ª série do ensino médio. São Paulo: IMESP, v. 2, 2014 - 2017.

CARVALHO, Anna M.P.. As práticas experimentais no ensino de Física. In CARVALHO, A.M.P. (org) *Ensino de Física. Coleção Ideias em ação*. São Paulo: Cengage Learning, 2010, pg. 53-78.

CONGRESSO IBERO-AMERICANO DE CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÃO E EDUCAÇÃO, 2014, Buenos Aires. **EXPERIMENTANDO A ÓPTICA: UMA NOVA PERSPECTIVA PARA O ENSINO DE FÍSICA EM TURMAS DE ENSINO MÉDIO [...]**. [S. l.: s. n.], 2014. 13 p.

DIAS, Ricardo Henrique Almeida; ALMEIDA, Maria José P.M. de. Especificidades do jornalismo científico na leitura de textos de divulgação científica por estudantes de licenciatura em física. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, [s. l.], v. 31, n. 4, 2009. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rbef/v31n4/v31n4a13.pdf>. Acesso em: 12 mar. 2021.

FERRARO, Nicolau Gilberto; SOARES, Paulo Almeida de Toledo. **Física: Básica**. 2. ed. São Paulo: Atual, 2004. 639 p. v. único. ISBN 85-357-0518-X.

HELERBROCK, Rafael. "Dualidade onda-partícula"; *Brasil Escola*. Disponível em: <https://brasilescola.uol.com.br/fisica/a-natureza-dual-luz.htm>. Acesso em: 03 fev. 2021.

HEWITT, Paul G.; **Física Conceitual**. 9ª Edição. Porto Alegre, Bookman: 2008.

HOYT L. F., **New Table of the Refractive Index of Pure Glycerol at 20°C**, *Ind. Eng. Chem.* 1934, 26(3), 329–332.

JEWETT JR., John W.; SERWAY, Raymond A. **Física para cientistas e engenheiros, volume 4: luz, óptica e física moderna**. São Paulo: Cengage Learning, 2012.

MENDES, M. **Óptica** disponível em: <https://brasilescola.uol.com.br/fisica/optica.htm> Acesso em: 06 fev. 2021.

JORGE N.; SOARES B.B.P.; LUNARDI V. M.; MALACRIDA C. R., **Alterações físico-químicas dos óleos de girassol, milho e soja em frituras**, *Quím. Nova* vol.28 no.6 São Paulo Nov./Dec. 2005. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/qn/v28n6/26819.pdf> Acesso em: 14 fev. 2021.

MOREIRA, Marco Antonio. **O que é afinal Aprendizagem Significativa?** Revista cultural La Laguna Espanha, 2012. Disponível em <http://moreira.if.ufrgs.br/oqueeafinal.pdf> Acesso em: 01 fev.2021.

MOREIRA, M. A. **Mapas Conceituais e Aprendizagem Significativa**. Disponível em: <https://www.if.ufrgs.br/~moreira/mapasport.pdf> Acesso em: 14 fev.2021.

MOSINAHTI, Giovana Leticia **O Uso de Notícias Científicas em Aulas de Física de Partículas Elementares para a Promoção da Alfabetização Científica**. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/157186>>. Acesso em: 06 fev. 2021.

NUNES, Djalma. **Física: volume 2: termologia, óptica, ondulatória**. 3ª . ed. São Paulo: Ática, 1994. ISBN 85 08 04162 4.

NUSSENZVEIG; MOISÉS H.. **Curso de Física Básica 4: Ótica, Relatividade, Física Quântica**. São Paulo: Edgard Blücher, 1998.

PETRUCCI, Ralph H.; HERRING, F. Geoffrey; MADURA, Jeffry D.; BISSONNETTE, Carey. **General Chemistry: Principles and Modern Applications**. 10<sup>th</sup> Ed. Toronto: Pearson, 2011.

PIETROCOLA, M.; POGIBIN, A.; ANDRADE, R. de; ROMERO, T. R. L.. **Física em contextos**: pessoal, social e histórico: energia, calor, imagem e som. Coleção Física em contextos V.2 – 1ª Ed. – São Paulo: FDT, 2010, PG. 307- 405

PRÄSS, Alberto Ricardo. **Teorias de aprendizagem**. Porto Alegre:ScriniaLibris.com.2012. Disponível em <https://www.passeidireto.com/arquivo/51945460/teorias-de-aprendizagem-alberto-ricardo-prass> Acesso em: 06 fev. 2021.

RIGATIERI, V. **Expansão da Fibra Óptica Garante Melhor Qualidade da Internet** disponível em: <https://www.inova.jor.br/2020/11/11/qualidade-fibra-optica/> Acesso em: 06 fev. 2021.

ROCHA, Ricardo F.A.; DICKMAN, Adriana G. Ensinando Termodinâmica por meio de Experimentos de Baixo Custo. Abakós, Belo Horizonte,v. 4, n. 2, p. 71-93, maio 2016 - ISSN: 2316-9451

SAMPAIO, José Luiz; CALÇADA, Caio Sérgio. **Universo da Física 2**: Hidrostática Termologia óptica. São Paulo: Atual, 2001. 566 p. v. 2. ISBN 85-357-0069-2.

SANTOS, José Ivan Cardoso dos; RAMALHO JUNIOR, Francisco; FERRARO, Nicolau Gilberto; SOARES, Paulo Antônio de Toledo. **Os Fundamentos da Física 2**: Termologia, Geometria da Luz e Ondas. 2ª. ed. São Paulo: Moderna, 1981.

STRYER, Lubert. **Bioquímica**. 3ª. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1988.

TEIXEIRA, Mariane Mendes. "O que é Óptica Geométrica?"; *Brasil Escola*. Disponível em: <https://brasilescola.uol.com.br/o-que-e/fisica/o-que-e-optica-geometrica.htm>. Acesso em: 1 de fev. de 2021.

THE INTERNATIONAL SYSTEM OF UNITS (SI). Gaithersburg: National Institute of Standards and Technology, 2001. Disponível em: <https://physics.nist.gov/cuu/pdf/sp330.pdf> Acesso em: 11 mar. 2021.

TRIGO, Thales; CARRILHO, Ronaldo. **Física**: Livro 8, Óptica geométrica. São Paulo: Anglo, 1991.

YOUNG, Hugh D.; FREEDMAN, Roger A.; FORD, A. Lewis. **University Physics**: with Modern Physics. 14th edition. ed. Harlow: Pearson, 2016.

ZILIO, Sérgio Carlos. **Óptica Moderna**: Fundamentos e Aplicações. São Paulo: [s. n.], 2009. 320 p. ISBN 978-85-88533-42-4. Disponível em: <http://www.fotonica.ifsc.usp.br/ebook/book1/Optica-Moderna.pdf>. Acesso em: 1 fev. 2021.